

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра авиатопливообеспечения и ремонта ЛА

К.И. Грядунов

ХИММОТОЛОГИЯ АВИАЦИОННЫХ ГСМ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

*для студентов
направлений 25.03.01, 25.04.01
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2024

УДК 629.7.036:665.6/.7

ББК 052-082-32

Г92

Рецензент:

Козлов А.Н. – канд. техн. наук, доцент

Грядунов К.И.

Г92

Химмотология авиационных ГСМ [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ /К.И. Грядунов. – М.: ИД Академии Жуковского, 2024. – 72 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочими программами учебных дисциплин «Химмотология авиационных ГСМ» по учебному плану для студентов направлений подготовки 25.03.01 и 25.04.01 всех форм обучения.

В учебно-методическом пособии представлены лабораторные работы по определению показателей качества авиационных горюче-смазочных материалов, в основном связанных с чистотой авиаГСМ, в соответствии с требованиями современных нормативных документов и с применением необходимого оборудования. Другие показатели качества авиаГСМ, характеризующие химмотологическую надёжность авиационной техники, рассматриваются в курсе «Эксплуатационные свойства авиационных ГСМ».

Выполнение данных работ позволит студентам закрепить теоретическую часть соответствующих изучаемых дисциплин и практически освоить методы определения рассматриваемых показателей качества авиационных топлив, масел и специальных жидкостей.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 08.04.2024 г. и методического совета 09.04.2024 г.

УДК 629.7.036:665.6/.7

ББК 052-082-32

В авторской редакции

Подписано в печать 25.09.2024 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 4,5 Усл. печ. л. 4,185

Заказ № 1032/0617-УМП07 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (499) 755-55-43

E-mail: zakaz@itsbook.ru

Содержание

Техника безопасности.....	4
Лабораторная работа № 1. КАВИТАЦИЯ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ .	5
Лабораторная работа № 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА С ВОДОЙ.....	12
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ С ПОМОЩЬЮ ИКТ НА ПОЗ-Т	16
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАГРЯЗНЕНИЙ И КЛАССА ЧИСТОТЫ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ.....	21
Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ.....	26
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ	30
Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ.....	34
Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ	41
Лабораторная работа № 9. ОЦЕНКА СОСТАВА ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ НА АДК «ПРИЗМА»	46
Лабораторная работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ	51
Лабораторная работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ	54
Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПВКЖ В ТОПЛИВАХ.....	57
Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПВКЖ «И-М».....	62
Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНОВ.....	64
Лабораторная работа № 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЭТРАЭТИЛСВИНЦА В АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНАХ	70
Рекомендуемая литература	72

Техника безопасности

Работа с ГСМ неизбежно связана с рядом опасных и вредных факторов. Помещения лаборатории Химии и авиатопливообеспечения ЛА оборудованы специальными рабочими столами, шкафами (в т. ч. вытяжными) и полками для ГСМ, посуды, оборудования, они снабжены водопроводом и канализацией. Мебель и оборудование располагаются так, чтобы проходы между столами и выход из помещений были всегда свободными для обеспечения быстрой эвакуации людей в экстренных случаях. В лаборатории имеются соответствующие инструкции, средства противопожарной безопасности, аптечка.

Для обеспечения безопасности необходимо соблюдать следующие **общие правила при нахождении в лаборатории**:

1. Лабораторные работы демонстрируются студентам во время, предусмотренное расписанием занятий.
2. Запрещается находиться в лаборатории в неустановленное время без разрешения и контроля преподавателя (ведущего инженера, зав. лабораторией).
3. В лаборатории запрещается работать в одиночку.
4. В лаборатории необходимо соблюдать чистоту, порядок и тишину.
5. Запрещается посещение студентов, находящихся в лабораториях, посторонними лицами, а также отвлечение студентов посторонними работами и разговорами.
6. Запрещается находиться в лаборатории в любой верхней одежде.
7. Запрещается курить, принимать пищу, пить воду в лаборатории.
8. Запрещается проводить какие-либо опыты, не предусмотренные программой лабораторных работ, приносить свои вещества, выносить вещества из лаборатории.
9. К выполнению лабораторной работы можно приступать после изучения методики и правил работы с приборами.
10. На рабочем столе должны находиться только необходимые ГСМ, оборудование, посуда и письменные принадлежности.
11. Поверхность стола должна быть чистой, сухой, свободной от посторонних предметов.
12. При выполнении лабораторных работ все операции необходимо выполнять над рабочим столом.
13. При работе с ГСМ необходимо надевать необходимые индивидуальные средства защиты; включать вентиляцию, когда это возможно.
14. Запрещается сливать ГСМ в канализацию.
15. После окончания работы следует вымыть посуду, отключить электроприборы, выключить воду, привести в порядок рабочее место и сдать его ведущему инженеру (преподавателю).

Лабораторная работа № 1. КАВИТАЦИЯ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

- изучить явление кавитации авиационных топлив;
- знать влияние кавитации топлив на эксплуатацию ЛА и АД;
- уметь оценивать высотность топлива по его составу с учётом атмосферных условий.

1. Теоретическое введение

Под **кавитацией** (от лат. *cavitas* — пустота) понимают интенсивное выделение парогазовой фазы из АТ (авиационного топлива). Склонность АТ к кавитации определяет **высотность топливных систем ЛА и АД** — высоту полёта, до которой обеспечивается нормальное питание АД топливом при заданных характеристиках АТ.

Газовая фаза в авиационных топливах представлена растворённым в них воздухом. Воздух, как и любой другой газ, обладает неограниченной способностью расширяться и равномерно заполнять предоставленный ему объём. Находясь в гравитационном поле земли, воздух в атмосфере действует на поверхность земли с огромным весом ($\sim 51,7 \cdot 10^{18}$ Н), поэтому плотность воздуха и атмосферное давление, максимальные у Земли, с подъёмом на высоту уменьшаются.

Воздух, составляющий атмосферу, представляет собой механическую смесь газов, содержание которых (по объёму) в нижних слоях следующее: азот ~ 78 %, кислород ~ 21 %, аргон $\sim 0,93$ %, другие газы (углекислый газ, водород, неон, гелий) $\sim 0,07$ %. Относительный состав постоянных компонентов атмосферы практически не изменяется до высоты 90 км. До высоты 400—600 км сохраняется преимущество кислородно-азотный состав атмосферы. Однако постепенно (из-за того, что высокие слои атмосферы мало защищены от космического воздействия и в них идут процессы диссоциации и ионизации) преобладающим становится атомарный кислород, появляется и атомарный азот. С высоты 600 км и до высоты $\sim 1\ 600$ км в атмосфере начинает преобладать гелий, а далее на высоте 3 000 км и более — водород. Так, постепенно, газовая оболочка, окружающая Землю, переходит в межзвёздный газ, состоящий из 76 %

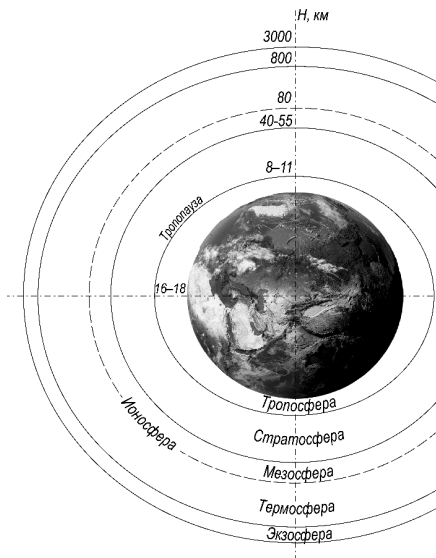


Рис. 1. Строение атмосферы

(по массе) водорода и 23 % гелия. В нижних слоях атмосферы содержится большое количество паров воды, составляющих ~1 % от общей массы атмосферы, продуктов сгорания и пыли, концентрация которой изменяется в широких пределах (от 10 пылинок на литр воздуха над лесными массивами до $20 \cdot 10^4$ в городах и промышленных центрах). В отдельных районах (особенно над промышленными центрами) в сравнительно больших количествах могут содержаться сернистый и угарный газы, ванадий, алюминий, хлор, цинк, железо и др.

Атмосфера имеет чётко выраженное слоистое строение (рис. 1). В слоях атмосферы изменяется не только состав воздуха, но и его температура. Как и Земля, атмосфера под влиянием вращательного движения несколько сжата над полюсами и растянута над экватором.

Наибольший интерес для гражданской авиации представляют тропосфера, стратосфера и переходная зона между ними — тропопауза. Эти зоны являются основной областью полётов ЛА. Толщина тропопаузы в различных широтах составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч метров.

Нижний слой атмосферы (тропосфера) простирается до высоты 8 км у полюса и 18 км на экваторе. Он характеризуется интенсивным перемещением воздуха, наличием облачности, осадков, устойчивым понижением температуры воздуха с увеличением высоты. Вертикальный температурный градиент подвержен сезонным и суточным колебаниям, значение его может изменяться от 3 до 7,5 °C на каждые 1000 м (в среднем на каждые 1 000 м температура уменьшается на 6,5 °C). Температура воздуха у земли может изменяться в широких пределах: от -70 °C в районах Якутии до +55 °C в среднеазиатских пустынях.

В верхнем слое тропосферы температура воздуха стабилизируется и становится равной -56,5 °C. Для средних широт высота, на которой температура воздуха практически остается неизменной, равна 11 км. В связи с тем, что плотность воздуха быстро уменьшается с высотой, в тропосфере сосредоточено около 80 % всей массы атмосферы.

Основными параметрами, характеризующими состояние воздуха, является давление, температура и плотность. Они значительно изменяются не только в зависимости от высоты, но и в зависимости от широты и долготы места наблюдения, времени года и суток. Для удобства аэродинамических расчётов и сравнения результатов испытаний ЛА, проведённых в различных местах и в разное время, была введена международная стандартная атмосфера (МСА) — условная атмосфера с осреднёнными значениями параметров воздуха по высотам.

Для МСА приняты следующие условия на нулевом уровне (уровне моря): $t_0 = 15$ °C, $p_0 = 760$ мм рт. ст., $\rho_0 = 1,225$ кг/м³.

Для тропосферы, толщина которой в стандартной атмосфере составляет 11 км, характерные параметры воздуха на различных высотах можно подсчитать по следующим формулам:

$$t_H = t_0 - 0,0065 \cdot H, \quad (1)$$

$$p_H = p_0(1 - (H/44300))^{5,256}, \quad (2)$$

$$\rho_H = \rho_0(1 - (H/44300))^{5,256}, \quad (3)$$

где $t_H, t_0, p_H, p_0, \rho_H, \rho_0$ — температура, °С; давление, мм. рт. ст.; плотность воздуха, кг/м³ на расчётной высоте и на уровне моря соответственно;

H — высота, отсчитываемая от уровня моря.

В стратосфере до высоты 20 км температура воздуха сохраняется неизменной, равной $-56,5^\circ \text{C}$. Давление воздуха и плотность с подъёмом на высоту продолжают уменьшаться:

$$p_H = 169,4 \cdot e^{-((H-11000)/64340)}, \quad (4)$$

$$\rho_H = 0,3636 \cdot e^{-((H-11000)/64340)}. \quad (5)$$

Растворимость газов в АТ зависит от углеводородного состава АТ, температуры, внешнего давления, соотношения объёмов паровой (в надтопливном пространстве) и жидкой фаз и пр. (рис. 2, 3).

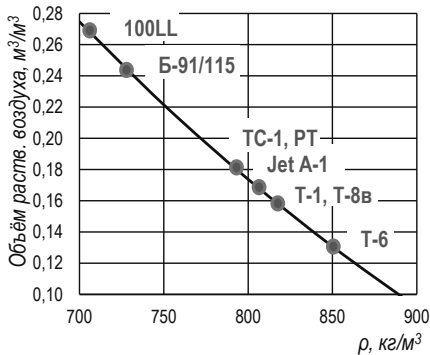


Рис. 2. Растворимость воздуха в зависимости от плотности АТ при н.у.

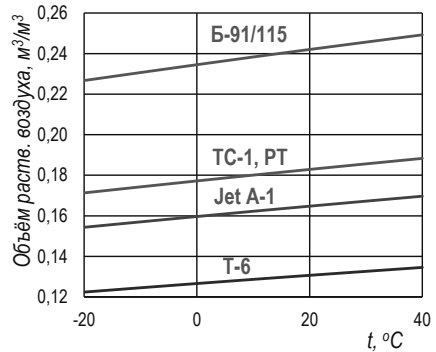


Рис. 3. Растворимость воздуха в зависимости от температуры

Каждая тонна топлива содержит сотни литров растворённого воздуха.

Объём воздуха, растворённый в АТ, в м³ воздуха/м³ топлива, приведённый к н.у. ($t = 20^\circ \text{C}$ и $P = 1,0132 \cdot 10^5 \text{ Па}$), может быть рассчитан по формуле Бунзена:

$$\alpha_{в20} = \frac{V_0}{V_{ж}} \frac{273 \cdot V_r \cdot P_r}{V_{ж} \cdot (273 + t) \cdot (P - P_H)}, \quad (6)$$

где: V_0 — объём растворённого газа, приведённый к н.у., м³;

$V_{ж}$ — объём топлива при температуре насыщения, м³;

V_r — объём растворённого газа, измеренный при температуре насыщения, м³;

P_r — давление выделенного газа, Па;

P_H — давление насыщенного пара при температуре насыщения, Па;

P — давление в ёмкости, где происходит насыщение топлива газом, Па;

$P - P_H$ — парциальное давление газа, Па.

Данный коэффициент для АТ может быть определён по упрощённой формуле:

$$\alpha_{в20} = \frac{0,8577}{0,1733 + \rho_{20} \cdot 10^{-3}} - 0,7075, \quad (7)$$

где: ρ_{20} — плотность АТ при 20 °С, кг/м³.

При температуре, отличной от 20 °С, в диапазоне от -20 до +40 °С растворимость газов может быть определена по формуле:

$$\alpha_{вT} = \alpha_{в20} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{0,445}, \quad (8)$$

где: T — температура, К.

Растворимость газов в кг/м³ в зависимости от давления:

$$\alpha_{вP} = \alpha_{вT} \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (9)$$

где: P — парциальное давление газа в надтопливном пространстве, МПа;

P_0 — нормальное давление, равное 0,1 МПа.

Растворимость газов в АТ неодинакова. По возрастанию растворимости газы можно расположить в следующем порядке (рис. 4).

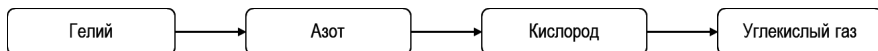


Рис. 4. Растворимость газов в авиационных топливах

Таким образом, в АТ растворяется кислорода больше, чем азота, что при выделении газовой фазы создаёт условия для образования взрывоопасных смесей в топливных баках ЛА. Также это обуславливает окислительные процессы, происходящие в АТ и топливных системах ЛА и АД.

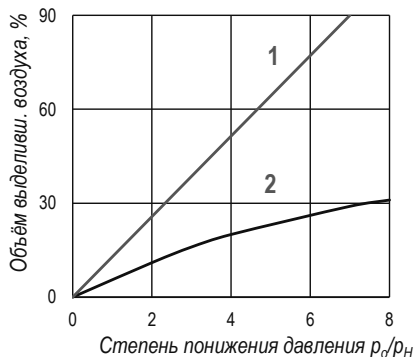


Рис. 5. Объём выделеншегося и АТ воздуха: 1 — при быстром выделении; 2 — при медленном

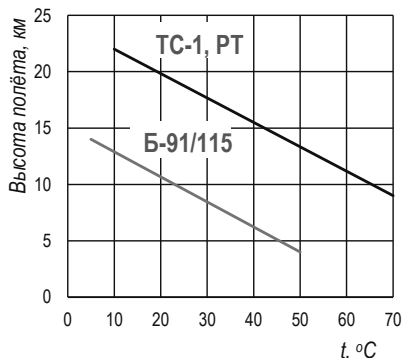


Рис. 6. Минимальная высота полёта, на которой начинается бурное выделение газа из АТ от температуры АТ

Выделение газов из АТ интенсифицируется при наличии вибраций.

При наборе высоты объём растворённого в топлива газа уменьшается пропорционально уменьшению давления в надтопливном пространстве (рис. 5). Интенсивность выделения газов зависит от температуры АТ (рис. 6). Количество выделяемого воздуха может достигать сотен литров на тонну топлива. Резкое понижение давления в надтопливном пространстве вследствие быстрого набора высоты может вызывать кратковременную кавитацию в магистралях топливных систем на малых высотах полёта, что не представляет опасности для эксплуатации ЛА. Относительно длительная кавитация АТ в топливных магистралях и кавитация в топливных баках крайне опасны. При возникновении кавитации по магистралям топливных систем движется смесь жидкости с выделившимися из неё газами и парами топлива, а также их смесями. Парогазовая смесь аккумулируется в отдельных зонах магистралей и приводит к разрыву потока жидкости, а при определённых внешних условиях образующиеся парогазовые (кавитационные) пузырьки схлопываются, в результате чего возникают резкие пульсации давления топлива, повышенное изнашивание насосов (кавитационное (эрозионное) изнашивание), сопровождающиеся гидроударами и характерным шумом, колебания и перебои в подаче топлива — вплоть до полного прекращения подачи и самовыключения АД. Чаще всего явление кавитации наблюдается при движении топлива по топливным магистралям, особенно на входе в топливные насосы.

С целью обеспечения безкавитационной работы топливных системы ЛА и АД в случае необходимости применяют наддув баков ЛА воздухом или азотом. Дополнительными мерами являются: заправка ЛА охлаждённым топливом, осуществление плавного набора высоты, соответствующие конструктивные решения в топливных системах ЛА и АД.

Склонность топлива к кавитации оценивается фракционным составом и давлением насыщенных паров.

2. Экспериментальная часть

Эксперимент в настоящей лабораторной работе заключается в определении давления (высоты), при котором начинается кавитация в испытуемой жидкости в зависимости от температуры этой жидкости.

Для проведения эксперимента необходимы: испытуемая жидкость, жидкостный термостат, вакуумный насос с вакуумметром, стеклянная колба с резиновой пробкой (рис. 7, 8).

Порядок проведения эксперимента

1. Измеряют плотность и температуру испытуемой жидкости по ГОСТ 3900–85.
2. Заливают жидкость в стеклянную колбу.
3. Закрывают колбу резиновой пробкой с закреплённым в ней шлангом вакуумного насоса (2) и с помощью регулятора (5) плавно создают

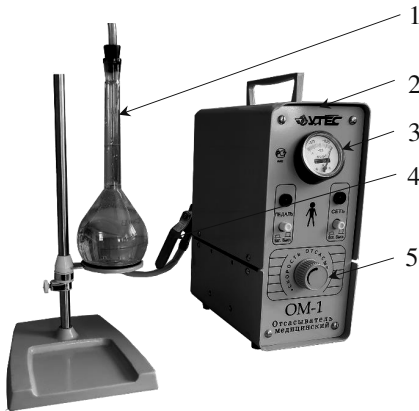


Рис. 7. Определение давления кавитации: 1 — колба с испытуемой жидкостью, пробкой и отводящей трубкой; 2 — вакуумный насос; 3 — вакуумметр; 4 — кран; 5 — регулятор вакуумного насоса



Рис. 8. Термостатирование образца АТ: 6 — жидкостный термостат; 7 — блок управления жидкостным термостатом

отрицательное давление до образования устойчивого выделения пузырьков газа. Фиксируют полученное значение давления по

вакуумметру (3) вакуумного насоса.

4. Сбрасывают отрицательное давление в колбе с помощью крана (4) системы трубопроводов вакуумного насоса.

5. Заменяют пробку колбы на резиновую пробку с отверстием, помещают колбу в жидкостный термостат (6) для повышения температуры испытуемой жидкости.

6. Выставляют на блоке управления (7) жидкостного термостата требуемую температуру. Дожидаются установления температурного равновесия между жидкостью и водой в жидкостном термостате (выдерживают колбу с жидкостью при установившейся в термостате температуре не менее 5 мин).

7. Повторяют пп. 3—6, повышая температуру жидкости до 60 °С с интервалом в 10 градусов.

8. Используя формулы 1—9, строят графики зависимостей количества растворённого в жидкости воздуха от температуры; температуры начала кавитации жидкости от высоты над уровнем моря. Высоту лаборатории над уровнем моря принимают равной 170 м.

9. Проводят эксперименты не менее, чем для трёх различных жидкостей: авиационного керосина, бензина, масла, воды.

Делают развёрнутый вывод по проведённой лабораторной работе.

3. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте определение кавитации.
2. Назовите факторы, влияющие на возникновении кавитации авиационных топлив в топливных системах ЛА и АД.
3. Назовите методы предотвращения возникновения кавитации авиационных топлив в топливных системах ЛА и АД.
4. Назовите негативные последствия возникновения кавитации авиационных топлив.
5. Назовите факторы, влияющие на растворимость газов в авиационных топливах.
6. Как изменяется температура, плотность и давление воздуха с подъёмом на высоту? Оцените влияние этих изменений на возникновение кавитации авиационных топлив.
7. Как влияют сорта и марки топлив на возникновении кавитации в топливных системах ЛА и АД?
8. Оцените влияние атмосферных условий при заправке ЛА на высотность топливных систем ЛА и АД.
9. Дайте определение высотности топливных систем ЛА и АД. Определите факторы, влияющие на высотность.
10. Охарактеризуйте динамику изменения основных параметров воздуха в атмосфере. Её влияние на высотность топливных систем ЛА и АД.

Лабораторная работа № 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА С ВОДОЙ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние загрязнённости АТ на эксплуатацию ЛА и АД;
- уметь определять чистоту авиационных топлив по ГОСТ 27154–86.

1. Теоретическое введение

Под **чистой авиационных топлив** понимают степень их загрязнённости механическими примесями, водой и прочими загрязнениями (ПАВ, микрофлорой, другими ГСМ).

Существуют количественные и качественные (в т. ч. экспресс) методы оценки чистоты авиационных топлив. К количественным методам оценки загрязнённости относятся весовой, гранулометрический, Карла Фишера и др., к качественным — визуальные методы, методы с использованием индикаторов качества топлива (ИКТ), метод испытания на взаимодействие с водой и др. Методу испытания на взаимодействие с водой посвящена данная работа, остальные будут изучены на соответствующих лабораторных работах.

Метод испытания на взаимодействие с водой характеризует присутствие в топливах загрязнений и ПАВ.

Загрязнения (механические примеси) — частицы минеральной и органической природы, появившиеся в топливе при производстве, транспортировке, прокачке, хранении, использовании по назначению и пр. В большинстве случаев такими частицами являются микрочастицы — частицы, невидимые невооружённым глазом (размерами менее 50 мкм). **ПАВ** — различные химические соединения как специально введённые в топливо для улучшения эксплуатационных свойств (присадки), так и попавшие в топливо извне в качестве загрязнений.

Механические примеси, присутствующие в топливах, имеют различную природу и могут быть классифицированы в соответствии с рис. 1.

Влияние загрязнений на эксплуатацию авиационной техники неодинаково, но в подавляющем большинстве случаев является негативным. Повышенное содержание механических примесей может приводить к забивке ФТО двигателей, повышенному изнашиванию узлов и агрегатов двигателей, заклиниванию и залипанию (зависанию) золотниковых пар, уменьшению проходных сечений топливопроводов и ТМР, повышению коррозии конструкционных материалов, разрушению резин, герметиков и мн. др.

Влияние ПАВ, находящихся в топливе, также может проявиться различным образом, однако эти вещества, как правило, ухудшают такие эксплуатационные свойства как вязкость и прокачиваемость. Они способствуют росту частиц загрязнений, адсорбируются на фильтрующих поверхностях и ускоряют их блокирование механическими примесями и мазеобразными отложениями, затрудняют удаление воды из топлива, т. к. в их присутствии повышается

устойчивость водных эмульсий и пр. Поэтому содержание в топливе необходимых ПАВ должно быть оптимальным, достаточным для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств, но не способствовать значительному эмульгированию воды и дезактивации водоотделяющих поверхностей фильтров-сепараторов, а содержание прочих ПАВ должно исключаться.

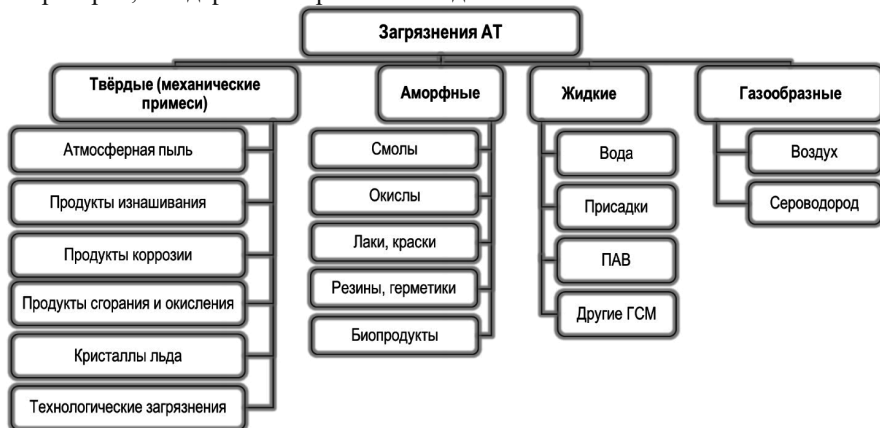


Рис. 1. Классификация загрязнений, присутствующих в АТ

Вследствие химических, биологических и коррозионных процессов, а также из-за постоянного контакта топлива с атмосферой в нём накапливаются механические загрязнения.

При подготовке топлива к заправке в ЛА необходимо очистить топливо до содержания механических примесей не более 2 г/т, для чего осуществляется его многоступенчатая очистка: фильтрация и отстаивание. Содержание механических примесей контролируется на всех этапах авиатопливообеспечения воздушных судов.

Актуальность простого метода оценки чистоты авиатоплива по опыту на взаимодействие с водой возросла с момента увеличения случаев их загрязнения биологическими продуктами и остатками биодизелей, что значительно участило случаи забивки ФТО авиационных двигателей данными продуктами.

Сущность метода заключается в контактировании образца топлива с дистиллированной водой (или буферным раствором фосфата) с последующей оценкой состояния фаз (топливо-вода) и поверхности их раздела.

2. Экспериментальная часть

Тщательно промывают стеклянную посуду, используемую при испытании. Не допускается применять поверхностно-активные вещества. Удаляют следы нефтепродукта со стенок цилиндра, пробки и пипетки промывают н-гептаном или нефтяным растворителем с последующей промывкой ацетоном и водой. Цилиндр, пробку и пипетку погружают приблизительно на 30 мин в хромовую

смесь, затем смесь осторожно сливают. Посуду последовательно ополаскивают водой, дистиллированной водой и дают жидкости стечь.

При применении буферного раствора — раствор фосфата (pH 7) — его готовят следующим образом: в мерной колбе в дистиллированной воде растворяют 1,5 г двузамещённого фосфорнокислого калия 3-водного ($K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$) и 0,47 г однозамещённого фосфорнокислого калия (KH_2PO_4) посуду дополнительно ополаскивают раствором фосфата и дают жидкости стечь. Если на стенках цилиндра остаются капли, его вновь погружают в хромовую смесь на 30 мин и повторяют операцию с промывкой водой или буферным раствором.

Буферный раствор фосфата используют при арбитражном анализе.

Полученные пробы топлива выдерживают при температуре 20 ± 3 °C не менее 30 мин и перемешивают в течение 3 мин.

Порядок проведения эксперимента

1. В тщательно подготовленный цилиндр при температуре 20 ± 3 °C с помощью пипетки, избегая разбрызгивания, наливают 20 см³ дистиллированной воды или буферного раствора фосфата (измерение проводят по нижнему мениску с погрешностью не более 0,5 см³), затем наливают 80 см³ испытуемого топлива и закрывают цилиндр пробкой.
2. Цилиндр встряхивают в течение 2 мин (по секундомеру), производя 2—3 взмаха в секунду в горизонтальном направлении с амплитудой 10—25 см. При встряхивании не допускается вращательное движение,

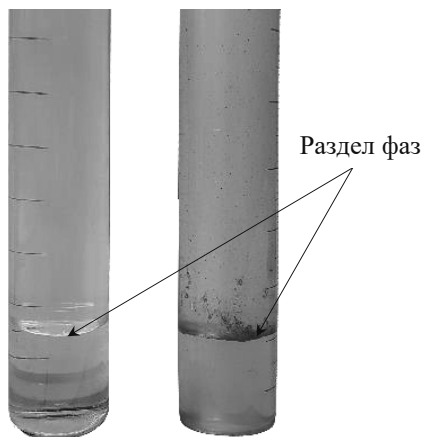


Рис. 2. Определение состояния раздела фаз (слева — чистое топливо, справа — загрязнённое)

которое при образовании эмульсий приводит к её разрушению.

3. После встряхивания цилиндр с закрытой пробкой немедленно ставят на поверхность, не подвергающуюся ощутимой вибрации, и дают содержимому отстояться.

4. После 5 мин отстаивания, не перемещая цилиндр, определяют визуально состояние поверхности раздела фаз (рис. 2).

5. То же делают после 30 мин отстаивания при рассеянном свете на белом фоне.

6. Результаты взаимодействия топлива с водой оценивают по состоянию поверхности раздела и разделённых фаз в баллах в соответствии с табл. 1.

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца топлива.

Таблица 1

Оценка состояния раздела фаз в баллах

Состояние поверхности раздела	Состояние разделенных фаз	Балл
Поверхность раздела чистая, прозрачная. Допускается наличие налёта, прозрачной плёнки, мелких прозрачных пузырьков, неполностью покрывающих поверхность раздела	Чёткое разделение фаз. Отсутствие эмульсии внутри каждого слоя. Допускается наличие мути, не заметной на белом фоне	1
Плотная непрозрачная плёнка или сплошной слой пены	Нечёткое разделение фаз. Наличие эмульсии внутри каждого слоя, заметной на белом фоне	2

3. Контрольные вопросы

1. Назовите способы оценки чистоты авиационных топлив.
2. Дайте определение чистоте топлива?
3. В чём состоит суть определения чистоты топлив по испытанию на взаимодействие с водой.
4. Опишите методику определения загрязнённости топлива по ГОСТ 27154-86.
5. Назовите виды механических загрязнений, присутствующих в авиационных топливах.
6. Назовите возможные негативные последствия содержания механических примесей и ПАВ в топливах.
7. Назовите применяемые способы очистки авиационных топлив от загрязнений.
8. Что такое чистота авиационных топлив и какие требования к ней предъявляются?
9. Дайте определение механическим примесям и ПАВ.
10. Какие нормы по чистоте предъявляются к заправляемому в ЛА авиационному топливу?

Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ С ПОМОЩЬЮ ИКТ НА ПОЗ-Т

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние загрязнённости АТ на эксплуатацию ЛА и АД;
- уметь определять загрязнённость авиационных топлив при помощи ИКТ на ПОЗ-Т.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся чистоты авиационных топлив, методов её оценки и влияния различных видов загрязнений на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД, рассмотрено в лабораторной работе № 2. Взаимодействие авиатоплива с водой.

Данная лабораторная работа посвящена изучению экспресс метода качественной оценки чистоты авиационного топлива с помощью *индикатора качества топлива* (ИКТ) на ПОЗ-Т (*приспособление определения загрязнённости топлива*).

ИКТ к ПОЗ-Т предназначен для определения уровня загрязнённости авиационных топлив с присадками и без них механическими примесями и свободной (эмульсионной) водой. Метод применяется в основном при проведении аэродромного контроля качества авиационных топлив.

Все нефтепродукты обладают **обратимой гигроскопичностью**, т. е. способностью растворять в себе воду из окружающего воздуха и выделять её при снижении температуры.

Растворимость воды в топливах зависит от их углеводородного состава, плотности, температуры окружающего воздуха и топлива, влажности воздуха, внешнего давления и пр. и описывается формулой Генри:

$$g_{H_2O} = g_0 \Psi_0 \frac{p}{p_0} \left(\frac{T}{T_0}\right)^n,$$

где: g_0 — растворимость воды в авиатопливе при $p_0=760$ мм рт. ст. и $T_0=293$ К;

Ψ_0 — относительная влажность воздуха;

$n = 11$ — показатель степени для АТ.

Выделяют *7 фазовых состояний воды* в топливной системе ЛА и при резервуарном хранении и определяют следующие взаимные переходы фаз (рис. 1). И *3 фазовые состояния воды* в самом топливе: растворённая вода, свободная (эмульсионная, микрокапли) и кристаллы льда.

Растворённая вода — условное название воды, поглощённой (диффундирующей) из атмосферы вместе с воздухом и занимающей межмолекулярное пространство в топливе. Ввиду различной полярности молекул топлива (неполярные молекулы) и воды (полярные молекулы), вода в топливе не растворяется, и молекулы воды практически не вступают в химические реакции с углеводородами (за редким исключением — вода взаимодействует с ароматическими и непредельными углеводородами, при

сильном перемешивании образуя топливо-водную эмульсию). Этим и обуславливается обратимая гигроскопичность АТ.

Растворимость воды в топливах в зависимости от температуры представлена на рис. 2.

Выделение воды из топлива в виде свободной фазы может приводить к появлению свободных микрокапель воды или к образованию смеси этих микрокапель (с высокой концентрацией) с самим топливом или ПАВ — т. е. к образованию *эмульсионной воды*. Водно-топливные эмульсии появляются в основном вследствие активного перемешивания АТ, и могут быть крайне стойкими (особенно в присутствии каких-либо ПАВ, в т. ч. ПВКЖ). В определённых условиях вода в топливной системе ВС может превращаться в пар с последующей конденсацией или без неё, кристаллизоваться, образуя кристаллики льда различного размера и формы в объёме топлива, иней на холодных элементах топливных систем ЛА и АД в надтопливном пространстве, или лёд под топливом.



Рис. 1. Фазовые переходы воды в топливной системе ЛА

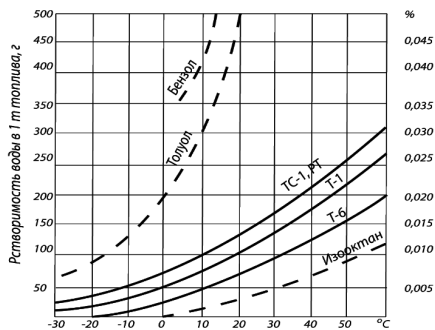


Рис. 2. Растворимость воды в 1 т топлив

Растворённая (гигроскопическая) вода является безопасной для эксплуатации ЛА, однако другие состояния воды приводят к нарушению работы узлов и агрегатов топливных систем. *Негативные последствия* наличия воды в топливе выражаются в обмерзании сеток ФТО двигателей вплоть до прекращения подачи топлива в двигатель, предохранительных сеток перекачивающих насосов и самих перекачивающих насосов, приводя к их разрушению и прекращению перекачки топлива; забивке дренажных систем; обмерзанию клапанов; изменении показаний датчиков-уровнемеров; повышении коррозионной активности топлив; разрушении соединений элементов топливных систем вследствие их многократного замерзания-отмерзания и пр. Стоит также отметить, что прочие загрязнения топливных систем значительно снижают температуру замерзания микрокапель воды. В связи с указанным **содержание эмульсионной воды в выдаваемых на заправку авиационных**

топливах ограничивается (по действующим нормам — не более 30 $G_{\text{воды}}/G_{\text{топлива}}$) и строго контролируется при заправке ЛА.

Существуют следующие *методы оценки наличия или содержания воды в АТ*: визуальный (позволяет определить наличие свободной (эмульсионной) и отстойной воды); при помощи ИКТ ПОЗ-Т, при помощи детекторов воды (данные методы позволяют определить наличие свободной (эмульсионной) воды) и определения содержания растворённой воды в топливе по методу Карла Фишера (ГОСТ 56340–2015). Наличие и уровень подтоварной (отстойной) воды в различных ёмкостях также определяют при помощи мерных штанг и метрштоков, смазанных водочувствительной пастой.

Визуально проверку содержания механических примесей и воды в авиационных топливах проводят следующим образом. Перед испытанием исследуемое топливо тщательно перемешивают встряхиванием и быстро наливают в чистый цилиндр из бесцветного стекла диаметром 40—55 мм. Рассматривать пробу необходимо через 1—2 мин после помещения её в цилиндр, когда поднимутся пузырьки воздуха. Желательно перед испытанием придать АТ в цилиндре вращательное движение, при этом механические примеси будут увлекаться со дна цилиндра. Отстойная вода в АТ легко обнаруживается визуально, так как она практически не смешивается с нефтепродуктами и располагается в нижнем слое топлива в виде капель. В АТ при визуальном рассмотрении его в проходящем свете не должно наблюдаться взвешенных или осевших на дно стеклянного цилиндра посторонних примесей, в том числе и капель воды. *Для лучшего распознавания наличия в АТ воды в пробу может быть добавлено несколько кристалликов перманганата калия (марганцовки), который окрашивает водные растворы в розовый (малиновый) цвет.*

Внешний вид и конструктивная схема ПОЗ-Т приведены на рис. 3.

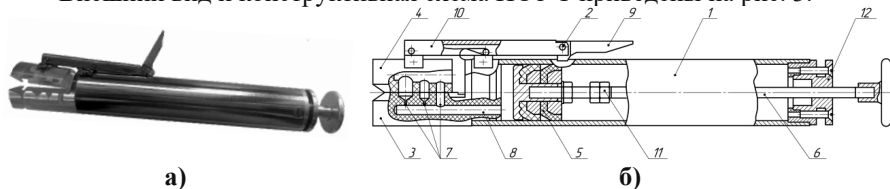


Рис. 3. Внешний вид (а) и конструктивная схема (б) ПОЗ-Т:

1 — дозирующая часть; 2 — механизм открытия-закрытия датчика; 3 — неподвижная часть датчика (основание); 4 — подвижная часть датчика (крышка); 5 — поршень; 6 — шток; 7 — калиброванные отверстия; 8 — топливный канал; 9 — хвостовик с кулачком; 10 — рычаг механизма открытия-закрытия; 11 — регулировочная гайка; 12 — крышка

ИКТ (рис. 4) изготовлен из двух прямоугольных отрезков аналитической ленты НЭЛ-4 (фильтров), сложенных в два слоя и скреплённых между собой по одному краю. Первый слой со стороны входа топлива — белый, пропитан солью трёхвалентного железа, второй слой — жёлтый, пропитан красной и жёлтой кровяными солями. Первый (белый) слой индикаторного элемента должен быть обращён в сторону подвижной части датчика — он изменяет свой цвет при

контакте с оксидом кремния и служит для определения содержания в топливе механических примесей, второй слой (жёлтый) — он изменяет свой цвет в контакте с водой и служит, соответственно, для определения содержания свободной (эмульсионной) воды. Срок годности ИКТ с момента выпуска составляет 2 года.



Рис. 4. Индикатор качества топлива:

1 — белый слой (снизу, контроль мех. примесей); 2 — жёлтый слой (сверху, контроль эмульсионной воды)

жёлтом слое сине-голубые отпечатки, количество которых зависит от её содержания в авиатопливе.

Принцип действия устройства (ПОЗ-Т в комплекте с ИКТ) основан на изменении цвета индикаторного элемента в местах прохождения через него испытуемого авиатоплива. Механические примеси отфильтровываются на белом (первом по ходу авиатоплива) слое ИКТ и оставляют на нём тёмные отпечатки, по интенсивности окраски которых в сравнении с эталоном определяется загрязнённость топлива механическими примесями. Эмульсионная вода при прохождении через ИКТ оставляет на

2. Экспериментальная часть

Получают пробу авиационного керосина.

Порядок проведения эксперимента

1. Осматривают приспособление и убеждаются в отсутствии внешних повреждений.
2. Поворачивают рычаг открытия-закрытия датчика вверх до отказа.
3. Вставляют в разём датчика ИКТ белым слоем к подвижной крышке датчика.
4. Поворотом рычага открытия-закрытия до отказа зажимают в датчике ИКТ.
5. Погружают датчик и часть цилиндра (на 1—2 см) в испытуемое АТ и производят постепенное его всасывание в течение 7—10 сек.
6. Не вынимая датчика из топлива, делают выдержку 2—3 сек.
7. Открывают датчик и извлекают ИКТ из датчика. Топливо из цилиндра выталкивают штоком поршня.

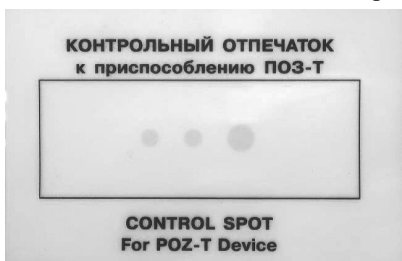
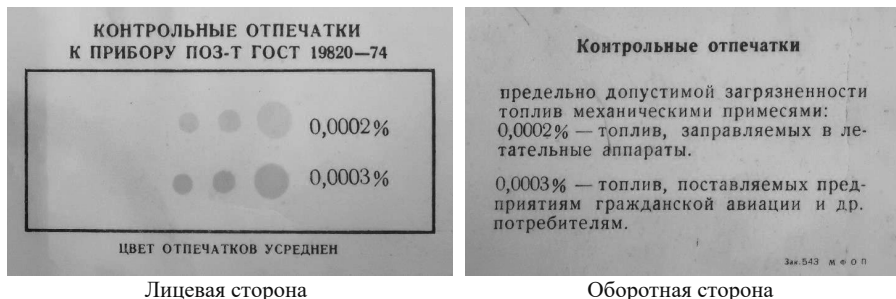


Рис. 5. Контрольный отпечаток к ПОЗ-Т

Сразу после извлечения ИКТ (во влажном состоянии) его рассматривают на белом фоне. При отсутствии видимых отпечатков содержание эмульсионной воды и механических примесей принимается за отсутствие. Наличие одного или двух отпечатков — предупредительный знак. Наличие трёх отпечатков — браковочный признак.

По серо-коричневым отпечаткам определяют загрязнённость АТ механическими примесями путём сравнения их с контрольными (эталонными) отпечатками (рис. 5). Для информации: на заре развития данного приспособления, когда оно ещё именовалось прибором, отпечаток с соответствующими разъяснениями выглядел, как показано на рис. 6.



Лицевая сторона Оборотная сторона
Рис. 6. Ранее используемый контрольный отпечаток к ПОЗ-Т

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Назовите способы оценки чистоты авиационных топлив.
2. Дайте определение чистоте АТ.
3. Что называют механическими примесями? Микропримесями?
4. Назовите виды загрязнений, присутствующих в авиационных топливах.
5. Назовите виды механических примесей, присутствующих в авиационных топливах.
6. Опишите методику оценки загрязнённости топлива на ПОЗ-Т.
7. Опишите визуальный метод оценки загрязнённости АТ.
8. Опишите принцип действия ПОЗ-Т с ИКТ.
9. Назовите возможные негативные последствия содержания механических примесей в топливах.
10. Назовите возможные негативные последствия наличия воды в АТ.
11. Назовите фазовые состояния воды в топливной системе ЛА и в авиатопливе. Наличие какой фазы оценивается на ПОЗ-Т?
12. Назовите применяемые способы очистки авиационных топлив от загрязнений.
13. Какие требования предъявляются к чистоте АТ?
14. Какие критерии оценки загрязнённости АТ применяются при его анализе на ИКТ?

Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЗАГРЯЗНЕНИЙ И КЛАССА ЧИСТОТЫ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние наличия загрязнений в авиационных топливах на работу узлов и агрегатов топливных систем;
- уметь определять гранулометрический состав проб авиационных топлив и их класс чистоты по ГОСТ 17216–2001.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся чистоты авиационных топлив, методов её оценки и влияния различных видов загрязнений на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД рассмотрено в теоретической части лабораторной работы № 2. Взаимодействие авиационного топлива с водой.

Данная лабораторная работа посвящена изучению метода оценки гранулометрического состава загрязнений и определения класса чистоты авиационного топлива с помощью анализатора *ГРАН 152-1* (*гранулометрический анализатор*).

Данный метод является достаточно простым, быстрым, достоверным и информативным микроскопическим методом, осуществляющим подсчёт количества взвешенных частиц различных размеров, их классификацию по размерным группам и определение класса чистоты жидкости в соответствии с нормами ГОСТ 17216–2001. Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей.

Метод позволяет выразить загрязнённость топлива эмпирическим числовым показателем «*класс чистоты*». Чем выше класс чистоты жидкости, тем больше в ней загрязняющих частиц. Всего определено 19 классов чистоты.

Изначально метод применялся для оценки чистоты гидравлических жидкостей, но на данный момент в силу своей простоты, универсальности и удобства применяется для различных ГСМ: рабочих жидкостей гидравлических систем привода и управления машин, приводов инструментов; смазочных масел, жидких топлив, растворителей.

Принцип действия прибора

Внешний вид и конструкционная схема прибора ГРАН 152-1 показаны на рис. 1. Подсчёт количества частиц по различным размерным группам осуществляется методом амплитудной классификации электрических импульсов, вырабатываемых в первичном преобразователе в момент пересечения частицами фотометрируемой зоны регистрации. Классификация импульсов по размерным группам осуществляется пятью компараторами, пороги срабатывания которых пропорциональны той части площади зоны регистрации кюветы, которая перекрывается поперечным сечением частицы (рис. 2).

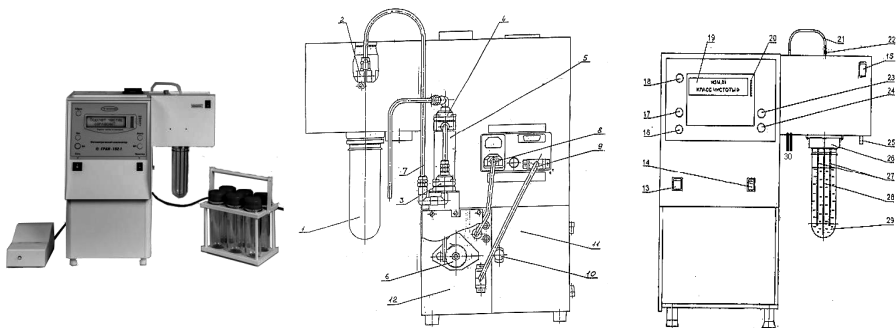


Рис. 1. Внешний вид и конструкционная схема ГРАН 152-1 (виды сзади, вид спереди):

1 — пробоотборник; 2 — кювета; 3 — входной клапан; 4 — выходной клапан; 5 — цилиндр; 6 — привод поршня; 7 — соединительная трубка; 8 — кабель питания двигателя; 9 — кабель управления; 10 — винт; 11 — дверца; 12 — блок дозатора; 13 — выключатель «Сеть»; 14 — выключатель «Принтер»; 15 — выключатель «Мешалка»; 16 — кнопка «ДА»; 17 — кнопка «НЕТ»; 18 — кнопка «Сброс»; 19 — алфавитно-цифровой индикатор (АЦИ); 20 — «линейка» светодиодов; 21 — трубка; 22 — выходной штуцер кюветы; 23 — кнопка «Лента»; 24 — кнопка «МП» (Reset); 26 — гнездо мешалки; 27 — лопасти; 28 — отсасывающая трубка; 29 — пробоотборник; 30 — сливная трубка

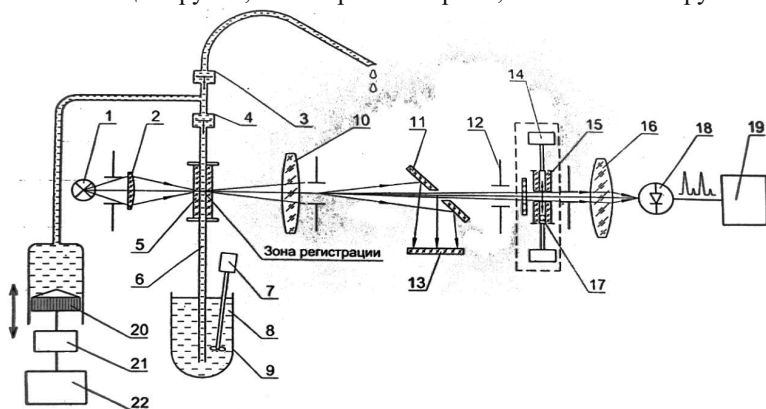


Рис. 2. Принципиальная опто-гидравлическая схема анализатора ГРАН:

1 — источник света; 2 — конденсор; 3 — клапан обратный; 4 — клапан прямой; 5 — изм. кювета; 6 — пробоотборная трубка; 7 — мешалка; 8 — проба топлива; 9 — пробоотборная ёмкость; 10 — линза; 11 — зеркало; 12 — полевая диафрагма; 13 — экран для визуализации зоны регистрации; 14 — побудитель колебаний образцовой частицы; 15 — калибровочная кювета; 16 — линза; 17 — образцовая частица; 18 — фотоприёмник; 19 — микропроцессорный блок; 20 — насос поршневой; 21 — переключатель редукции; 22 — привод насоса

Анализируемая жидкость (8) под воздействием разрежения, создаваемого в цилиндре (20) поршневого насоса, прокачивается через стеклянную измерительную кювету (5). Осветитель (1, 2) через зону регистрации кюветы и оптическую систему (10—16) посылает световой поток на фотоприёмник (18). Каждая из взвешенных в анализируемой жидкости частиц при пересечении просвечиваемой зоны регистрации кратковременно экранирует световой поток. При этом на фотоприёмнике формируется электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна площади поперечного сечения частицы (рис. 2) в пределах зоны регистрации. Импульсы, вырабатываемые в моменты пересечений частицами просвечиваемой зоны, поступают на входы пяти пороговых устройств (компараторов), посредством которых они в зависимости от амплитуды классифицируются на пять отдельных групп, адекватных размерным группам частиц в интервалах: 5—10 мкм, 10—25 мкм, 25—50 мкм, 50—100 мкм, от 100 и более мкм.

В случаях регистрации частиц неправильной геометрической формы, измерительная схема анализатора определяет их размер как диаметр некой эквивалентной сферической частицы, имеющей такое же поперечное сечение, как у частицы неправильной формы. С выходов компараторов электрические импульсы поступают в электронный блок, в котором они регистрируются по пяти различным каналам, соответствующим частицам различных размерных групп (5—10, 10—25, 25—50, 50—100, 100 и более мкм). Так как ГОСТ 17216–2001 определяет класс чистоты по числу частиц каждой группы в 100 см³ жидкости, а объём единичной пробы равен 10, 25 или 50 см³, процессор умножает число частиц, обнаруженных в каждой группе, на соответствующий коэффициент, сопоставляет результаты расчёта с нормами стандарта и определяет класс чистоты анализируемой жидкости. Если нужен результат анализа именно 100 см³ жидкости, следует выполнить два анализа с объёмом 50 см³ и усреднить полученные результаты.

Результаты измерений распечатываются на бумажной ленте цифropечатающего устройства (ЦПУ) и выводятся на экран анализатора. Классы чистоты определяются автоматически для каждой размерной группы частиц, итоговым классом чистоты признаётся наихудший из них.

Следует отметить наличие в анализаторе автоматической калибровки, что упрощает его метрологическое обслуживание за счёт исключения трудоёмких процедур калибровки с применением различных эталонных сред.

2. Экспериментальная часть

Получают пробу авиационного керосина.

Порядок проведения эксперимента

1. Включают анализатор, на экране высветится: «Прибор».
2. Пробоотборник с анализируемой жидкостью ввинчивают в узел мешалки. Включают тумблер мешалки и в течение 10—20 сек. размешивают пробу. После этого мешалку выключают.

3. Нажатием на кнопку ДА переводят анализатор в режим «Подсчёт частиц, согласны?»
4. Нажимают на кнопку ДА. Анализатор переходит в режим, в котором пользователь последовательными нажатиями на кнопку НЕТ устанавливает на экране анализатора требуемое значение дозируемого объёма пробы V и минимальный размер регистрируемых частиц, начиная от которого производится подсчёт частиц (от 5 или от 10 мкм).
5. Нажатием на кнопку ДА включают дозатор. В этом режиме из трубки отбора пробы и кюветы выдавливается жидкость, оставшаяся от предыдущего измерения. Взамен неё кювета заполняется новой пробой. Через несколько сек. анализатор переходит в режим подсчёта частиц. На экране в верхней строчке слева индицируется общее количество подсчитанных частиц n_0 , а справа — порядковый номер измерений. На нижней строчке экрана высвечено: слева — значение объёма жидкости, протекшей через кювету от начала измерения. Справа — время, прошедшее от начала измерения. В момент, когда через кювету протечёт установленный объём жидкости, счёт частиц прекратится, дозатор выключится, а на экране высветятся результаты гранулометрического состава пробы.

В момент проведения анализа в анализируемой жидкости, в особенности на участке зоны регистрации измерительной кюветы, не должны находиться воздушные пузырьки. Наличие в жидкости воздушных пузырьков может существенно исказить результаты измерений, так как пузырьки в потоке жидкости будут регистрироваться также как механические частицы загрязнений. Наблюдать за зоной регистрации возможно через окошко перископа на верхней панели прибора, на которое с десятикратным увеличением проецируется изображение потока жидкости со всеми её включениями.

Результаты анализа выводятся на цифровой экран анализатора. Также результат может быть распечатан на бумажной ленте принтера, если он был включен выключателем (14) (рис. 1).

Записывают значение класса чистоты, по табл. 1 определяют загрязнённость АТ в г/т.

При использовании сильнозагрязнённой жидкости после эксперимента необходимо промыть гидравлический тракт анализатора от оставшихся в нём загрязнений. Для этого прокачивают дозатором чистую жидкость в объёме не менее 50 мл.

Выключают прибор и отключают его от сети.

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца топлива.

Таблица 1

Классы чистоты жидкости и масса загрязнений

Класс чистоты жидкостей	Число частиц загрязнителя в $100 \pm 0,5 \text{ см}^3$ жидкости при размере частиц, мкм, не более								Масса загрязнителей, %, не более		
	от 0,5 до 1	св. 1 до 2	св. 2 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200		волокна	
00	800	400	32	8	4	1			АО	АО	Не нормируется
0	1600	800	63	16	8	2		Отсутствие			
1		1600	125	32	16	3			Отсутствие	Отсутствие	
2			250	63	32	4	1				
3				125	63	8	2				
4				250	125	12	3				
5				500	250	25	4	1			
6				1000	500	50	6	2	1	0,000032	
7				2000	1000	100	12	4	2	0,000064	
8				4000	2000	200	25	6	3	0,000125	
9				8000	4000	400	50	12	4	0,00025	
10	Не нормируется			16000	8000	800	100	25	5	0,0005	
11				31500	16000	1600	200	50	10	0,001	
12				63000	31500	3150	400	100	20	0,002	
13					63000	6300	800	200	40	0,004	
14					125000	12500	1600	400	80	0,008	
15						25000	3150	800	160	0,016	
16						50000	6300	1600	315	0,032	
17							12500	3150	630	0,064	

Примечания

- «Отсутствие» означает, что при взятии одной пробы жидкости частицы заданного размера не обнаружены или при взятии нескольких проб общее число обнаруженных частиц меньше числа взятых проб.
- «АО» — абсолютное отсутствие частиц загрязнителя.
- Зависимость класса чистоты жидкостей от массы содержащегося в ней загрязнителя с учётом числа частиц загрязнителя в жидкости является справочной. Массы приведены для частиц загрязнителя со средней плотностью $4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ и плотностью жидкости $1 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение чистоте авиаГСМ.
2. Что такое класс чистоты? Сколько их существует в соответствии со стандартом?
3. Назовите виды загрязнений авиационных топлив.
4. Опишите влияние наличия загрязнений в АТ на эксплуатацию топливных систем ЛА и АД.
5. Назовите методы оценки чистоты АТ.
6. Опишите методику определения класса чистоты АТ в соответствии с ГОСТ 17216–2001.
7. Опишите принцип действия прибора ГРАН 152-1.
8. Как соотносятся между собой класс чистоты и масса загрязнений? С каким классом чистоты возможно допускать АТ к применению на ЛА?
9. Назовите способы очистки АТ от загрязнений при подготовке его к применению на ЛА.

Лабораторная работа № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ ВЕСОВЫМ МЕТОДОМ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние наличия загрязнений в авиационных топливах на работу узлов и агрегатов топливных систем;
- уметь определять содержание механических примесей в авиационных топливах по ГОСТ 10577–78.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся чистоты авиационных топлив, методов её оценки и влияния различных видов загрязнений на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД рассматривалось в лабораторной работе № 2. Взаимодействие топлива с водой.

Данная лабораторная работа посвящена изучению метода оценки содержания механических примесей в топливах соответствии с ГОСТ 10577–78 на установке ПВФ-35/1 (рис. 1).

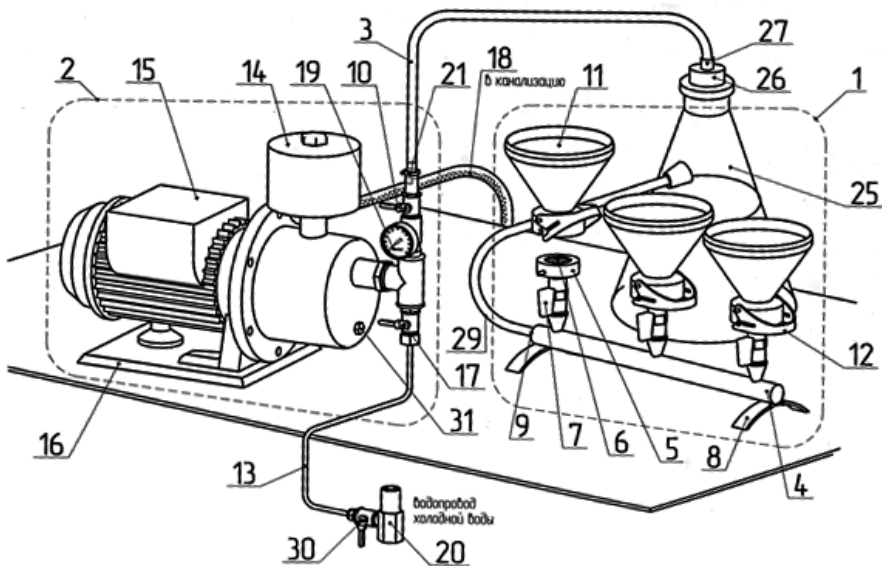


Рис. 1. Прибор вакуумного фильтрования ПВФ-35/1

Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными нитроцеллюлозными или ацетатными фильтрами при фильтровании через них испытуемого нефтепродукта. Метод не применяют для анализа нефтепродуктов, содержащих более 0,1 %

нерастворённой воды. Для синтетических едких жидкостей подбирают соответствующие химически стойкие фильтры.

Прибор состоит из следующих основных частей (рис. 1): ячейки фильтровальной (1), вакуумной станции (2), соединительного шланга (3).

Ячейка фильтрации (1) включает в себя: коллектор (4) с основанием (5), на верхнем торце которого имеются фритты (6), на которых размещаются фильтрующие мембраны. Краны (7) предназначены для запираания отсасывающих каналов воронки. Коллектор имеет опоры (8) и штуцер (9) для присоединения вакуумного шланга (3) (или шланга (29)).

Воронки (11) снабжены пружинными зажимами (12), посредством которых они крепятся на основании (5).

Вакуумная станция (2) включает в себя: ёмкость (14), насос (15), основание (16), краны (10), (17), (30), шланг (3) к коллектору (4), трубку белую (13), кран (30) для присоединения к переходнику (20), который крепится на водопроводной линии, а также соединительные патрубки и фитинги.

Прибор укомплектован ресивером для сбора отфильтрованных жидкостей.

Ресивер включает в себя: колбу (25) с одной горловиной и боковым штуцером, пробку (26), штуцер (27) и соединительные шланги (3) и (29).

2. Экспериментальная часть

Получают пробу топлива (~ 400 см³ для одного определения).

Фильтруют растворитель через мембранный фильтр.

Внутреннюю поверхность фильтровальной воронки, сетку под мембранный фильтр тщательно протирают льняной тряпкой, смоченной профильтрованным растворителем, затем промывают растворителем.

Фильтры мембранные нитроцеллюлозные или ацетатцеллюлозные «Владипор» марки МФА-МА № 9 с порами 0,85—0,95 мкм высушивают 30 мин в сушильном шкафу при температуре 105 ± 5 °С. Охлаждают 30 мин в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Операцию высушивания фильтров повторяют до получения расхождения между последовательными взвешиваниями не более 0,0002 г.

Порядок проведения эксперимента

1. Бутылку с пробой топлива взвешивают на весах с погрешностью не более 0,5 г, перемешивают и фильтруют через мембранный фильтр на приборе ПВФ-35/1 под вакуумом 0,15—0,20 кг/см².
2. Фильтрация с помощью прибора производится в следующем порядке:
 - приподняв зажим (12), снимают воронку (11) с основания (5);
 - кладут на основание мембрану и устанавливают воронку, зафиксировав её зажимом;
 - закрывают краны ячейки фильтровальной и вакуумной станции (7) и (10);

- откручивают пробку на ёмкости (14) и заполняют водопроводной водой ёмкость, насос (15) и магистрали вакуумной станции (2) (до появления воды в шланге (18)). Заворачивают пробку на ёмкости (14);
- заливают в воронку пробу исследуемого АТ;
- открывают кран (7) под воронкой с пробой топлива;
- вставляют вилку в розетку и включают насос;
- через 5—10 сек. открывают кран (10);
- производят фильтрацию пробы топлива (вакуум 0,15—0,20 кг/см²);
- после окончания фильтрования профильтрованным растворителем тщательно ополаскивают бутылку, в которой была проба топлива и промывной продукт снова профильтровывают через тот же мембранный фильтр; частицы механических примесей, приставшие к стенкам воронки, снимают стеклянной палочкой с наконечником из хлорвиниловой трубки, с которого затем смывают их на фильтр растворителем с помощью промывалки с резиновой грушей;
- по окончании процесса фильтрации закрывают сначала кран (7) под воронкой, потом кран (10) и после чего выключают насос;
- приподняв зажим (12), снимают воронку (11) с основания (5) и извлекают мембранный фильтр с осадком, помещают его в стаканчик и сушат в сушильном шкафу в течение 30 мин при температуре 105 ± 5 °С. Затем охлаждают в течение 30 мин в эксикаторе и взвешивают на весах с погрешностью 0,0002 г.

Бутылку, в которой содержалась проба топлива, взвешивают с погрешностью не более 0,5 г и по разности масс бутылки до и после фильтрования определяют массу профильтрованного продукта.

Массовую долю механических примесей $X_{мп}$ в процентах с точностью до 0,0001 % вычисляют по формуле:

$$X_{мп} = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100,$$

где m_1 — масса стаканчика с мембранным фильтром после анализа, мг;

m_2 — масса стаканчика с мембранным фильтром до анализа, мг;

m_3 — масса испытуемого топлива, мг.

За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух последовательных определений.

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение чистоте авиаГСМ.
2. Дайте определение механическим загрязнениям.

3. Назовите виды загрязнений авиационных топлив.
4. Опишите влияние наличия загрязнений в АТ на эксплуатацию топливных систем ЛА и АД.
5. Назовите способы оценки чистоты АТ.
6. Опишите методику определения содержания механических примесей в АТ в соответствии с 10577–78.
7. Какие требования предъявляются к чистоте АТ?
8. Опишите принцип действия прибора ПВФ-35/1.
9. Опишите прибор для определения содержания механических примесей в АТ в соответствии с 10577–78.
10. Назовите способы очистки топлив от механических примесей и воды.

Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние наличия воды в топливах и топливных система ЛА и АД на их эксплуатацию;
- уметь определять содержание воды в авиационных топливах по ГОСТ 56340–2015.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся чистоты авиационных топлив, методов её оценки и влияния различных видов загрязнений на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД, рассмотрено в лабораторной работе № 2. Взаимодействие авиатоплива с водой. Теоретическое введение, отражающее влияние наличия воды в авиационных топливах на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД, рассмотрено в лабораторной работе № 3. Определение загрязнённости авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

Данная лабораторная работа посвящена определению содержания воды в авиационных топливах в соответствии с ГОСТ 56340–2015.

Общий вид прибора представлен на рис. 1.

Сущность метода заключается в следующем. В кулонометрическом титраторе влаги, работающем по методу Карла-Фишера, вода вступает в реакцию с йодом и двуокисью серы в присутствии основания и спирта:

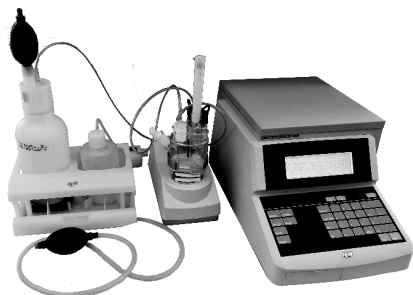
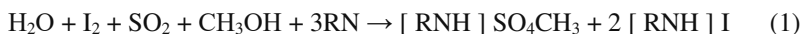


Рис. 1. Титратор MKS-520



При кулонометрическом методе титрования йод электролитически генерируется в анодном растворе, который содержит йодид-ионы:



До тех пор, пока в ячейке титрования присутствует вода, генерированный йод реагирует согласно (1). По мере того, как вся вода вступает в химическую реакцию, в анодном растворе появляется избыток йода. Этот йод определяется платиновым электродом, и образование йода прекращается. Согласно закону Фарадея, количество образовавшегося (и затем прореагировавшего) йода пропорционально выработанному электрическому току. В уравнении (1) I_2 и H_2O реагируют друг с другом в пропорции 1 : 1.

Поэтому моль воды (18 г) эквивалентен 2 x 96500 кулонов или 10,72 кулонов/1 мг H₂O. Общее количество влаги, таким образом, может быть определено посредством измерения общего потребления электричества.

Метод был разработан немецким химиком Карлом Фишером в 1935 г. Основными достоинствами метода являются: высокая точность и воспроизводимость, малое количество образца, простота пробоподготовки, малое время анализа. Недостатком метода является необходимость работы с ядовитыми веществами при подготовке растворов.

2. Экспериментальная часть

Перед проведением эксперимента очищают, сушат и собирают ячейки для титрования в соответствии с инструкцией изготовителя. Для герметизации от атмосферной влаги верхней и нижней ячейек аппаратуры используют фторуглеродную смазку. Подключают к титратору провода датчиков и электродов генератора.

Готовят (или используют) приготовленные (рис. 3) растворы для титрования и заполняют ячейки аппарата: через отверстие (4) заливают 100 мл анодного раствора, через отверстие (7) — 5 мл катодного раствора.

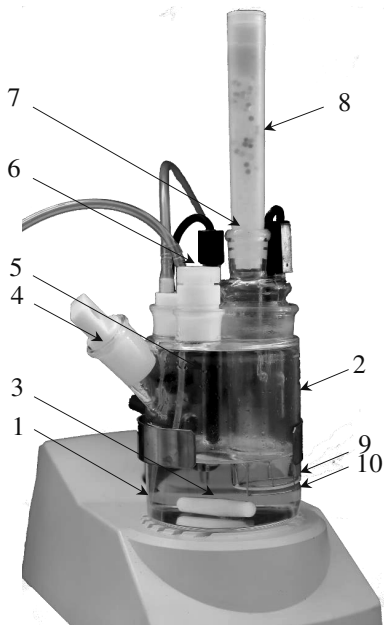


Рис. 2. Ячейки титрования MKS-520:

1 — анодная ячейка, 2 — катодная ячейка; 3 — магнитная мешалка; 4 — заливное отверстие для катода; 5 — платиновый детектирующий электрод; 6 — заливное отверстие с резиновой мембраной для ввода пробы топлива; 7 — заливное отверстие катода; 8 — заглушка, заполненная силикагелем; 9 — катод; 10 — анод



Рис. 3. Растворы для титрования: анодный (слева), катодный (справа)

Порядок проведения эксперимента



Рис. 4. Введение пробы топлива

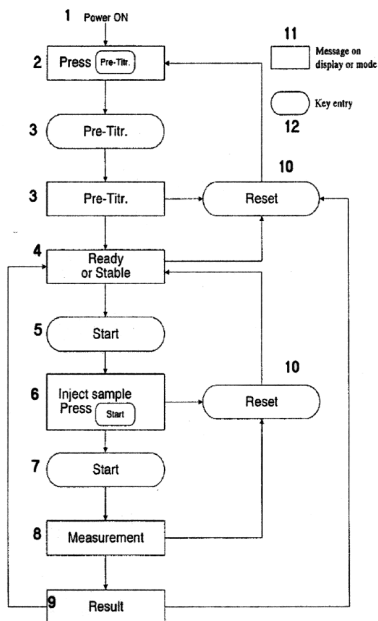


Рис. 5. Алгоритм задания команд при проведении эксперимента

1. Через отверстие (7) добавляют 5 мл католита во внутреннюю (малую) ячейку, используя шприц (рис. 2). Для слива жидкости используют промывочную бутылку для дренажа (рис. 1), также слив может осуществляться самотёком через заливное отверстие (7).

2. Через отверстие (4) заполняют внешнюю ячейку титрования (1) реактивом Фишера, используя резиновую грушу, в объёме 100 мл.

3. Аккуратно опускают во внешнюю ячейку магнитную мешалку (3).

4. Запускают предварительное титрование для устранения остаточной влаги в ячейке (кнопка Pre-titr).

5. Тщательно перемешивают пробу топлива.

6. Набирают пробу в сухой чистый шприц и взвешивают его с точностью до 0,1 мг, m_1 .

7. Вводят образец через мембрану анодной ячейки (6). Конец иглы при этом находится немного ниже поверхности жидкости (рис. 2, 4).

8. Запускают титрование в соответствии с алгоритмом (рис. 5).

9. Удаляют шприц, вытирают иглу бумажным фильтром и взвешивают его с точностью до 0,1 мг, m_0 .

10. Вводят на приборе значения масс шприца m_m и m_0 .

11. Записывают показанный на мониторе титратора результат — значение количества воды в микрограммах.

Вычисляют содержание воды $X(H_2O)$ в образце с точностью до 0,001 % масс. по формуле:

$$X(H_2O) = \frac{X(H_2O), \text{ мкг}}{m_r, \text{ г} \cdot 10000}, \% \text{ масс.}$$

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение чистоте авиационных топлив. Какие требования к чистоте АТ предъявляются в эксплуатации?
2. Назовите фазовые состояния воды в АТ и в топливных системах ЛА и АД.
3. Назовите методы определения воды в АТ.
4. Опишите сущность метода Карла Фишера для определения содержания воды в АТ.
5. Опишите прибор для определения содержания воды в АТ по методу Карла Фишера.
6. Опишите методику проведения эксперимента по определению содержания воды в АТ.
7. Назовите влияние обводнённости АТ на эксплуатацию ЛА и АД.
8. Назовите способы предотвращения негативных последствий, связанных с наличием воды в АТ и топливных системах ЛА и АД.

Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВАХ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты авиационных топлив;
- знать влияние загрязнённости АТ на эксплуатацию ЛА и АД;
- уметь определять наличие микробиологических загрязнений в АТ.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся чистоты авиационных топлив, методов её оценки и влияния различных видов загрязнений на работу узлов и агрегатов топливных систем ЛА и АД, рассмотрено в лабораторной работе № 2. Взаимодействие авиатоплива с водой.

Отдельным видом загрязнений АТ является *микробиологическое загрязнение*, представляющее собой в основном грибы и бактерии, обитающие на разделе фаз топливо-вода, а также в среде углеводов. Микробиологическому поражению подвержено топливо как при наземном хранении, так и в баках ЛА. *Отрицательное воздействие микробиологического загрязнения* АТ связано с забивкой фильтров ТЗК, ФТО АД и ВСУ, топливопроводов; повышением кислотности и коррозионности АТ; изменением диэлектрической проницаемости АТ и пр. (рис. 1). В существенно меньшей степени микробиологическому загрязнению подвержены минеральные масла, дизельные топлива и соответствующие системы.



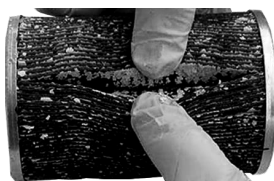
а) проба АТ из резервуара ТЗК



б) проба АТ из бака ЛА



в) фильтры ТЗК



г) ФТО АД



д) предохранительная сетка датчика топливной системы ЛА



е) повреждения ЛКП элементов топливной системы ЛА

Рис. 1. Последствия микробиологических загрязнений АТ

На развитие микроорганизмов (микрофлоры) оказывают влияние следующие факторы: температура и влажность воздуха, доступ кислорода, наличие минеральных элементов для питания (в т. ч. биотоплив). Так, стоянка самолёта с остатками топлива в дальневосточных странах (Индонезия, Вьетнам, Филиппины и пр.) с характерным климатом с высокой влажностью и высокой температурой длительностью всего около недели приводит к такому значительному росту популяций микроорганизмов, что при попытке запуска АД, фильтры ВСУ забиваются биозагрязнениями практически мгновенно.

В нашей стране микробиологические загрязнения топлив известны и исследовались примерно с середины прошлого века. Однако серьёзных проблем эксплуатация не испытывала ввиду климатических условий и широкого использования ПВКЖ «И-М». В современных условиях, когда практически все средне и дальнемагистральные ЛА эксплуатируются на международных линиях, а применение жидкости «И-М» ограничено, их топливные системы в различной степени поражены микробиологическими загрязнениями. В случаях значительного поражения в 1 мл АТ может находиться более 20 тысяч колоний микроорганизмов.

Для уничтожения и предотвращения роста популяций микроорганизмов в АТ используются следующие методы: добавление в АТ биоцидных присадок, вымораживание АТ, обработка АТ электромагнитным или ультрафиолетовым излучением, использование бактерицидных топливных фильтров, азотирование надтопливного пространства, слив отстойной воды из баков ЛА.

Нормативных документов, регламентирующих содержание микробиологических загрязнений, пока не существует. Но т. к. рост популяций микроорганизмов опасен для обеспечения безопасности полётов, в настоящее время используется ряд методов контроля их содержания и наличия в АТ как при наземном хранении, так и в баках ЛА (табл. 1).

Таблица 1

Методы контроля наличия микробиологических загрязнений в АТ

Марка теста	MicrobMonitor2	Easicult Combi	FUELSTAT	HY-LiTE Jet A-1 Fuel Test
Производитель	ECHA Microbiology, Англия	Orion Diagnostica, Финляндия	Conidia Bioscience Ltd, Англия	Merck KGaA, Германия / Великобритания
Вид теста	Количественный		Качественный	

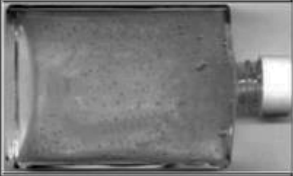
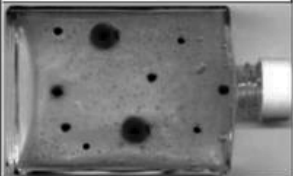
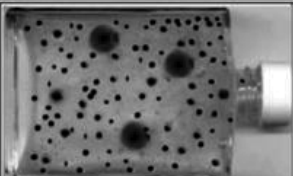
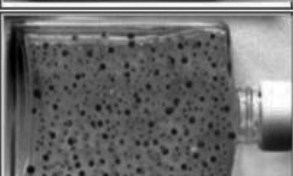

Сущность количественных методов заключается в выявлении наличия микроорганизмов в АТ путём их выращивания (культивирования) в среде питательного геля. Пример интерпретации результатов показан в табл. 2 на тесте MicrobMonitor2. Недостатком указанных методов является длительность проведения эксперимента — не менее 24 часов.

Сущность качественных методов заключается в определении наличия микроорганизмов в АТ посредством индикаторов, чувствительных к специфическим молекулам-мишеням, характерным для микроорганизмов. Недостатками данных методов является их чувствительность только к отдельным видам микроорганизмов.

Данная лабораторная работа посвящена качественной оценке заражения АТ микроорганизмами с использованием теста FUELSTAT.

Таблица 2

Интерпретация результатов эксперимента на тесте MicrobMonitor2

Внешний вид после инкубации	Количество колоний во флаконе для теста (точно или примерно подсчитанное)	Тестируемый объем	Содержание микроорганизмов в пробе
	Отсутствуют	0,5 мл топлива (шприц)	<2000 КОЕ/л
		0,25 мл топлива (шприц)	<4000 КОЕ/л
		0,1 мл воды (шприц)	<10 КОЕ/мл
		0,01 мл воды или масла (петлевой дозатор)	<100 КОЕ/мл
	10 колоний По возможности следует подсчитать точное количество колоний и рассчитать фактическое количество КОЕ, присутствующих в пробе	0,5 мл топлива (шприц)	2 x 10 ⁴ КОЕ/л
		0,25 мл топлива (шприц)	4 x 10 ⁴ КОЕ/л
		0,1 мл воды (шприц)	100 КОЕ/мл
		0,01 мл воды или масла (петлевой дозатор)	1000 КОЕ/мл
	100 колоний По возможности следует подсчитать точное количество колоний и рассчитать фактическое количество КОЕ, присутствующих в пробе или указать 100 колоний как приблизительное количество, если результат аналогичен представленному на фото	0,5 мл топлива (шприц)	около 10 ⁵ КОЕ/л
		0,25 мл топлива (шприц)	около 10 ⁵ КОЕ/л
		0,1 мл воды (шприц)	около 10 ⁵ КОЕ/мл
		0,01 мл воды или масла (петлевой дозатор)	около 10 ⁴ КОЕ/мл
	Указать 1000 колоний как приблизительное количество, если результат аналогичен представленному на фото	0,5 мл топлива (шприц)	около 10 ⁶ КОЕ/л
		0,25 мл топлива (шприц)	около 10 ⁶ КОЕ/л
		0,1 мл воды (шприц)	около 10 ⁶ КОЕ/мл
		0,01 мл воды или масла (петлевой дозатор)	около 10 ⁵ КОЕ/мл
	Указать 10 000 или более колоний как приблизительное количество, если результат аналогичен представленному на фото	0,5 мл топлива (шприц)	около 10 ⁷ КОЕ/л или более
		0,25 мл топлива (шприц)	около 10 ⁷ КОЕ/л или более
		0,1 мл воды (шприц)	около 10 ⁶ КОЕ/мл или более
		0,01 мл воды или масла (петлевой дозатор)	около 10 ⁵ КОЕ/мл или более

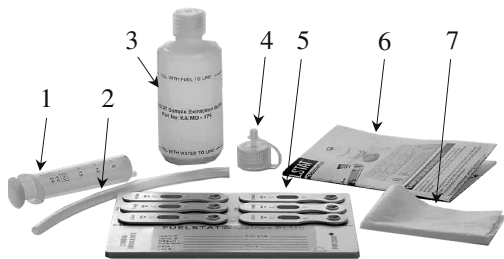


Рис. 2. Комплектация экспресс-теста FUELSTAT:

1 — шприц; 2 — экстракционная трубка; 3 — тестовый флакон объемом 175 мл с 3 мл экстракционной жидкости; 4 — крышка с капельницей и колпачком; 5 — тестовая пластина; 6 — лист с инструкцией; 7 — спиртовая салфетка

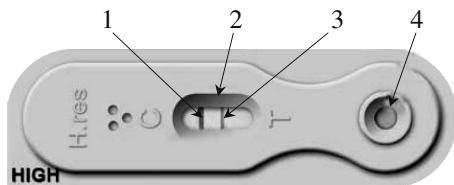


Рис. 3. Тестовая полоса:

1 — контрольная черта; 2 — смотровое окошко; 3 — тест-черта; 4 — лунка для пробы

Полоски состоят из нитроцеллюлозной мембраны, картонной подложки, подкладки для проб, подушки конъюгата и впитывающей подкладки. На мембране, подушке конъюгата и подкладке для проб содержатся сухие химикаты и биологический материал, для консервации которого используется азид натрия.

Экстракционная жидкость представляет собой водные растворы солей с синим пищевым красителем и консервантом.

Хранение тестов осуществляется при температуре 10—30 °С. При необходимости допускается краткосрочное хранение комплектов в холодильнике, однако перед использованием они должны прогреваться до комнатной температуры. Нельзя подвергать тесты длительной заморозке и использовать их после истечения срока годности.

2. Экспериментальная часть

Пробу для микробиологического теста отбирают из нижних точек баков ЛА (наземных ёмкостей). Желательно для тестирования отбирать отстоянную воду. Для отбора проб используют чистую ёмкость. Если одна и та же ёмкость

Тест-комплект FUELSTAT (рис. 2) предназначен для обнаружения микробиологического загрязнения авиационного, дизельного и другого среднедистиллятного топлива на основе технологии иммунного анализа антител Микроскопического гриба *Hormoconis resinae* (керосинового гриба). Тест дает результаты за 15 минут по месту проведения анализа и позволяет обнаружить специфические микроорганизмы-биодеструкторы топлива (керосиновый гриб).

Тестовая пластина (5) включает в себя 6 полосок (рис. 3) для измерения высокого и низкого уровня загрязнения микрофлорой. В каждой полоске имеется лунка для пробы и смотровое окошко. Результаты определяются по тест-черте (Т), а контрольная черта (С) подтверждает достоверность теста для каждой полоски.

используется для отбора нескольких проб, то её следует тщательно очищать перед повторным использованием салфетками (7) рис. 2, пропитанными спиртом с концентрацией не менее 70 % (или стерилизовать другим методом), и оставлять для высыхания перед повторным использованием.

Для проведения теста необходимо отбирать пробу объёмом не менее 200 мл, рекомендуемый объём — 1 литр.

Перед проведением эксперимента необходимо осмотреть тестовую пластину — на ней не должно быть повреждений, она должна быть сухой. Запрещается дотрагиваться до смотровых окошек и лунок для пробы тестовых полос.



Рис. 4. Тестовый флакон

Порядок проведения эксперимента

1. Вращательным движением ёмкости перемешивают отобранную пробу и дают ей отстояться 12—15 мин. После отстаивания проверяют наличие отстойной воды.
2. Если в пробе достаточно отстойной воды, переносят её шприцем в тестовый флакон FUELSTAT до нижней линии (линии воды), обозначенной как «fill with water to line» (рис. 4).
3. Если количество визуально заметной отстойной воды недостаточно для того, чтобы заполнить ею тестовый флакон до линии воды, то остальную часть флакона заполняют топливом, отбираемым шприцем (1) с экстракционной трубкой (2) (рис. 2) в придонной части пробы, до верхней линии (линии топлива) обозначенной как «fill with fuel to line» (рис. 4).
4. Если отстойная вода визуально не определяется, тогда заполняют флакон топливом, отбираемым шприцем в придонной части пробы, до линии топлива.
5. Надевают на флакон крышку с капельницей (4) (рис. 2), закрывают её колпачком и энергично встряхивают пробу в течение 5 сек. возвратно-поступательными движениями в вертикальной плоскости.
6. Переворачивают тестовый флакон крышкой вниз под углом 45° так, чтобы синяя экстракционная жидкость стекла в область крышки.
ПРИМЕЧАНИЕ: при тестировании только отстойной воды синяя жидкость не отделяется.
7. Полностью переворачивают флакон вверх дном и сливают 4 капли пробы на салфетку, чтобы очистить наконечник капельницы.
8. Не переворачивая флакона, осторожно наливают по 4 капли экстракционной жидкости в каждую из 6 лунок для пробы (4) (рис. 3) тестовых полос на тестовой пластине (5) (рис. 2), следя за тем, чтобы проба не проливалась на смотровые окошки (2) (рис. 3).
9. До окончания теста держат флакон перевернутым вверх дном на тот случай, если потребуется добавить пробу в тестовые полосы. Если

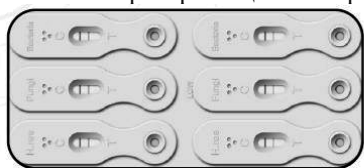
флакон оказался перевернутым вверх горлышком, а дополнительная проба понадобилась, следует выполнить настоящий порядок с п. 5.

10. Оставляют тестовую пластину на горизонтальной поверхности на 10—15 мин. В левой части каждого из 6 смотровых окошек должна появиться тёмно-красная контрольная черта. Это указывает на правильное проведение теста. Если на какой-либо из 6 полосок не отображается контрольная черта, то результаты эксперимента являются недействительными и его следует выполнить повторно, используя новый тест-комплект.

Делают заключение по проведённому эксперименту и о кондиционности АТ в соответствии с критериями табл. 3.

Таблица 3

Критерии оценки загрязнённости АТ тест-комплекта FUELSTAT

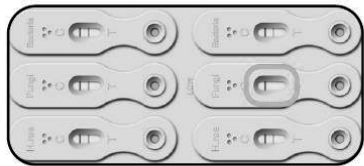


Незначительный результат

НЕЗНАЧИТЕЛЬНАЯ КОНТАМИНАЦИЯ

Если видны все 6 контрольных черт и 6 тест-черт, получен незначительный результат и не требуется выполнять никаких действий.

Такой результат означает, что контаминация отсутствует или ее уровень настолько низок, что не требуется выполнять никаких действий.

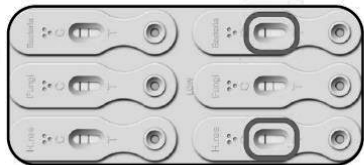


Низкий положительный результат

УМЕРЕННАЯ КОНТАМИНАЦИЯ

Если отсутствует 1 тест-черта низкого уровня (в данном примере не видна тест-черта низкого уровня в поле грибов), получен низкий положительный результат.

Это означает, что загрязнение имеется и необходимо принять меры – обратитесь к указаниям производителя и отраслевым регламентам.



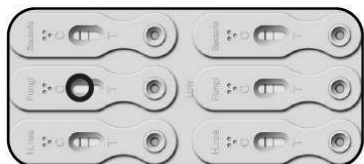
Высокий положительный результат

СИЛЬНАЯ КОНТАМИНАЦИЯ

Если не видны 2 или более тест-черт низкого уровня (на правой стороне тестовой пластины) или какие-либо черты высокого уровня (на левой стороне тестовой пластины), получен высокий положительный результат.

* Примечание: суммарное загрязнение, обнаруженное при получении 2 или более низких положительных результатов, эквивалентно высокому общему уровню загрязнения.

Это означает, что обнаружен высокий уровень загрязнения и необходимо срочно принять меры – обратитесь к указаниям производителя и отраслевым регламентам.



Недействительный тест

Если на какой-либо из 6 полосок не отображается контрольная черта, то тест является недействительным и его следует выполнить повторно, используя новый тест-комплект.

Проведите тест заново, даже если имеются черты (тест-черта) на противоположной полоске.

Интерпретация результатов также может проводиться в электронном виде с помощью соответствующего поставляемого производителем тестов приложения, скачанного на смартфон. В этом случае необходимо отсканировать тестовую пластину и зафиксировать отображённый результат.

3. Контрольные вопросы

1. Что понимается под чистотой топлива?
2. Назовите способы оценки чистоты авиационных топлив.
3. Какие требования предъявляются к чистоте АТ?
4. Назовите виды механических загрязнений, присутствующих в АТ.
5. Что представляют собой микробиологические загрязнения АТ?
6. Назовите влияние микробиологических загрязнений в АТ на работу топливных систем ЛА и АД.
7. Перечислите факторы, оказывающие влияние на развитие микрофлоры в АТ.
8. Назовите способы контроля микробиологических загрязнений в АТ.
9. Назовите методы борьбы с развитием микроорганизмов в АТ.
10. Опишите методику определения наличия микробиологических загрязнений в АТ с помощью экспресс-теста FUELSTAT.
11. Какие требования предъявляются к чистоте АТ по микробиологическим загрязнениям?
12. Назовите критерии оценки загрязнённости АТ микроорганизмами с применением экспресс-теста FUELSTAT.

Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить методы оценки чистоты масел;
- знать влияние механических примесей на работу узлов и агрегатов маслосистем;
- уметь определять содержание механических примесей в авиационных маслах по ГОСТ 6370–83.

1. Теоретическое введение

Важнейшим показателем, определяющим эксплуатационные свойства масел, является их чистота. Наличие и накопление в составе масел механических примесей связаны с одной стороны со значительными нагрузками в узлах трения, приводящими к их частичному разрушению с образованием металлических продуктов изнашивания, и с коррозионными процессами, а с другой стороны — с постепенным изменением химического состава моторного масла в ходе его ресурсного цикла и деструкцией присадок, входящих в состав свежего товарного масла. Таким образом, основными загрязнениями авиационных масел являются металлические частицы изнашивания, частицы коррозии конструктивных элементов масляных систем, ВТО, пыль, вода, авиационное топливо и мн. др.

Влияние загрязнений на работу узлов и агрегатов маслосистем неодинаково, но в подавляющем большинстве случаев является отрицательным. Вследствие наличия загрязнений происходит забивка ФТО масла, увеличение интенсивности изнашивания узлов трения, ухудшение прокачиваемости масел и снижение качества их распыла масляными форсунками, снижение расхода масла через опоры, ухудшение охлаждения масла в ТМР, ухудшение работы клапанов, искажение показаний контрольных элементов маслосистем и пр.

Для оценки загрязнённости авиационных масел применяются *следующие методы*: визуальный; качественный и количественный методы определения содержания воды; весовой и гранулометрический метод определения содержания механических примесей; методы качественного и количественного анализа металлических примесей в маслах.

Визуально проверку содержания механических примесей и воды в авиационных маслах проводят аналогично такой же проверке чистоты авиационных топлив после разбавления их четырёхкратным количеством чистого авиационного бензина, керосина или растворителя (нефраса), предварительно проверенного на отсутствие механических примесей и воды.

Перед испытанием исследуемое растворённое авиационное масло тщательно перемешивают встряхиванием и быстро наливают в чистый цилиндр из бесцветного стекла диаметром 40—55 мм.

Рассматривать пробу необходимо через 1—2 мин после помещения её в цилиндр, когда поднимутся пузырьки воздуха. Желательно перед испытанием придать разбавленному авиационному маслу в цилиндре вращательное

движение, при этом механические примеси будут увлекаться со дна цилиндра. Свободная (коагулирующиеся микрокапли) и отстойная вода в авиационных маслах легко обнаруживается визуально, так как она практически не смешивается с нефтепродуктами и располагается отдельным слоем или находится в виде капель. При рассмотрении разбавленной пробы авиационного масла в проходящем свете она не должна содержать взвешенных или осевших на дно цилиндра посторонних примесей, отдельного слоя воды или её капель.

Для повышения объективности визуального метода и исключения неправильных результатов необходимо крайне внимательно следить за чистотой ёмкостей для взятия проб, хранить их герметично закрытыми и привлекать для анализа нескольких операторов. Перед испытанием цилиндр с исследуемой пробой следует плотно закрыть плёнкой или крышкой.

Сущность весового метода, которому посвящена настоящая лабораторная работа, заключается в фильтровании растворённого в бензине, керосине или растворителе (толуоле) авиационного масла и промывании растворителем осадка на фильтре с последующим определением массы задержанного на фильтре осадка путём взвешивания.

2. Экспериментальная часть

Все растворители перед применением должны быть отфильтрованы.

Пробу авиационного масла тщательно перемешивают встряхиванием в течение 5 мин в бутылке, заполненной не более чем на $\frac{3}{4}$ её вместимости. Парафинистые и вязкие масла предварительно нагревают до температуры 40—80 °С на водяной бане.

Порядок проведения эксперимента

1. Бумажный или стеклянный фильтр промывают тем же растворителем, который применяют при испытаниях. Бумажный фильтр помещают в чистый сухой стаканчик для взвешивания. Стаканчик с открытой крышкой, в который помещён бумажный или стеклянный фильтр, держат в сушильном шкафу при температуре 105 ± 2 °С в течение 45 мин, после чего закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе в течение 30 мин и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Операцию высушивания и взвешивания повторяют до получения расхождения между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,0004 г. Повторные высушивания фильтров производят в течение 30 мин.
2. Подготовленную пробу масла (раствор) фильтруют через доведённый до постоянной массы бумажный фильтр, помещённый в стеклянную воронку, закреплённую в штативе. Раствор наливают на бумажный фильтр по стеклянной палочке, воронку с фильтром наполняют раствором не более чем на $\frac{3}{4}$ высоты фильтра. Остаток пробы смывают на бумажный фильтр чистым бензином (керосином, толуолом) до тех пор, пока капля фильтрата не будет оставлять на бумажном фильтре масляного пятна после испарения растворителя. Остатки пробы или

твёрдые примеси, приставшие к стенкам стакана, снимают стеклянной палочкой и смывают на бумажный фильтр горячим чистым бензином (керосином, толуолом). Если авиационное масло содержит воду, затрудняющую фильтрацию, то пробу отстаивают 10—20 мин, после чего сначала фильтруют бензиновую (толуоловую) часть раствора, осторожно декантируя её, затем отстой разбавляют 5—15-кратным (по объёму) количеством спирто-эфирной смеси и фильтруют. Остаток в колбе смывают на бумажный фильтр спирто-эфирной смесью и подогретым бензином (керосином, толуолом). Бумажный фильтр с осадком промывают при помощи промывалки с резиновой грушей подогретым бензином до тех пор, пока на бумажном фильтре не будет следов авиационного масла и растворитель не будет стекать совершенно прозрачным и бесцветным. Если проба фильтруется медленно, допускается фильтрация и промывание фильтров производить при пониженном давлении и применять воронку для горячего фильтрования. При этом воронку для горячего фильтрования с помощью резиновой пробки присоединяют к колбе, соединённой с насосом. Бумажный фильтр смачивают растворителем и помещают в воронку так, чтобы он плотно прилегал к стенкам воронки. При фильтровании в воронке Бюхнера загнутые края бумажного фильтра должны плотно прилегать к стенкам воронки. Воронку заполняют раствором не более чем на $\frac{3}{4}$ высоты фильтра и каждую новую часть добавляют после того, как стекла предыдущая. После фильтрования бумажный фильтр промывают, как описано ранее. При фильтровании с применением воронки для горячего фильтрования не допускается вскипания фильтруемого раствора. *Если при определении содержания механических примесей в авиационных маслах с присадками нормативно-технической документацией допускается дополнительно промывать фильтр горячей дистиллированной водой, то бумажный фильтр с осадком после промывания органическими растворителями просушивают на воздухе в течение 10—15 мин и затем промывают горячей дистиллированной водой (200—300 см³). При определении содержания механических примесей в авиационных маслах с присадками при наличии на бумажном фильтре осадка, не растворяющегося в бензине и толуоле, допускается дополнительное промывание бумажного фильтра горячей спирто-толуольной смесью.*

3. По окончании промывания бумажный фильтр с осадком переносят в стаканчик для взвешивания, в котором сушился чистый фильтр, и сушат с открытой крышкой в сушильном шкафу при температуре 105 ± 2 °С не менее 45 мин.
4. Стаканчик для взвешивания закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе в течение 30 мин и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Высушивание и взвешивание повторяют до получения

расхождения между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,0004 г. Повторные высушивания бумажного фильтра производят в течение 30 мин.

В случае, если содержание механических примесей не превышает нормы, установленной государственными стандартами на авиационное масло, доведение фильтра до постоянной массы не производят.

Массовую долю механических примесей (X) в авиационных маслах и рабочих жидкостях в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_3} \cdot 100,$$

где m_1 — масса стаканчика для взвешивания с чистым бумажным фильтром или масса стеклянного фильтра, г;

m_2 — масса стаканчика для взвешивания с чистым бумажным фильтром (стеклянного фильтра) с механическими примесями, г;

m_3 — масса пробы авиационного масла.

За результат испытания на содержание механических примесей в авиационных маслах принимают среднее арифметическое значение результатов двух последовательных определений.

Расхождения между двумя параллельными определениями не должны превышать величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые расхождения между результатами параллельных определений содержания механических примесей в авиационных маслах

Содержание примесей, % (по массе)	Воспроизводимость	Повторяемость
До 0,01	0,005	0,0025
От 0,01 до 0,1	0,01	0,005
От 0,1 до 1,0	0,02	0,01
Свыше 1,0	0,20	0,1

Содержание механических примесей до 0,005 % (по массе) включительно оценивается как их отсутствие.

Для уменьшения погрешности измерения содержания механических примесей в авиационных маслах и рабочих жидкостях следует использовать растворители после их перегонки.

При взвешивании стаканчика с бумажным фильтром после сушки его масса непрерывно меняется за счёт адсорбции влаги на поверхности. Для обеспечения однородности результатов в циклах «сушка — охлаждение — взвешивание» необходимо взвешивание регламентировать по времени, начиная его отсчёт с момента открытия крышки эксикатора для извлечения из него стаканчика до момента окончания отсчёта по шкале весов.

Делают вывод по проведённой лабораторной работе и о кондиционности испытанного образца авиационного топлива.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение чистоте авиационных масел.
2. Какими методами оценивают чистоту авиационных масел?
3. Как оценить чистоту авиационных масел визуально?
4. Назовите источники загрязнения авиационных масел.
5. Назовите влияние загрязнений авиационных масел на эксплуатацию масляных систем.
6. Дайте классификацию загрязнениям авиационных масел.
7. Опишите сущность весового метода определения содержания механических примесей в авиационных маслах.
8. Опишите методику определения содержания механических примесей в авиационных маслах по ГОСТ 6370–83.

Лабораторная работа № 9. ОЦЕНКА СОСТАВА ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ НА АДК «ПРИЗМА»

Цель работы:

- изучить параметры оценки состояния узлов и агрегатов авиационных двигателей;
- знать влияние механических частиц изнашивания на работу деталей, узлов и агрегатов масляных систем АД;
- уметь определять количественный и качественный состав частиц изнашивания на АДК «Призма».

1. Теоретическое введение

С целью обеспечения безопасности и экономичности полётов всё большее распространение получают методы раннего диагностирования узлов и агрегатов авиационных двигателей. Экономичность заключается в том, что осуществляется переход к обслуживанию авиационной техники по состоянию, а не по ресурсу.

Наиболее ответственными элементами авиационных двигателей являются его узлы трения, и прежде всего подшипники (опоры). Контроль за состоянием опор осуществляется по различным *параметрам* (рис. 1).

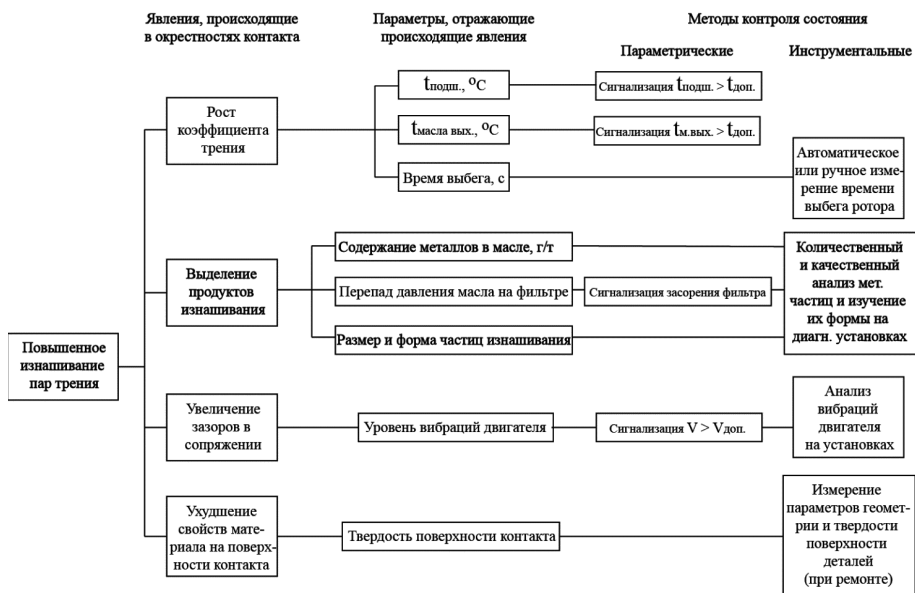


Рис. 1. Параметры диагностирование пар трения авиационных ГТД

Данный контроль осуществляется постоянно или периодически; системами контроля, установленными на борту ЛА (магнитные пробки, датчики температуры масла, стружкосигнализаторы и т. д.) или наземными методами.

Одним из наземных методов оценки состояния узлов и агрегатов АД и прогнозирования их остаточного ресурса является метод распознавания и оценки содержания металлических примесей в работающих маслах. *Сущность его заключается* в том, что для каждого типа двигателя нормируются предельно допустимые концентрации (ПДК) металлов, и при периодическом анализе масел полученные значения концентраций металлов сравниваются с нормативными. По результатам дается заключение: двигатель продолжает нормальную эксплуатацию, ставится на особый контроль или снимается с эксплуатации.

Методов распознавания металлов и их количественных значений в пробах и соответствующих приборов на данный момент имеется достаточно много. К основным современным методам стоит отнести следующие: феррографический, сцинтилляционный и спектральный. Основных спектральных методов также существует несколько: атомно-эмиссионный, атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный. Стоит отметить, что любые современные приборы, в которых реализован один из указанных методов, при их преимуществах и недостатках относительно друг друга являются высокоточными и позволяют с высокой достоверностью определять материал частиц и их содержание в пробах.

Одним из таких приборов является рентгенофлуоресцентный автоматизированный диагностический комплекс (АДК) «Призма» отечественного производства (рис. 2.).



Рис. 2. Внешний вид АДК «Призма»

АДК «Призма» — рентгенофлуоресцентный спектрометр, позволяющий с высокой точностью определить содержание до 40 элементов, находящихся в пробе.

Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце.

Отобранный образец жидкости объемом 25—50 мл прокачивается через фильтр для осаждения на нём механических примесей. Затем фильтр устанавливается в кювету рентгенофлуоресцентного анализатора. Когда атомы образца облучаются фотонами с высокой энергией — возбуждающим первичным излучением рентгеновской трубки, это вызывает испускание электронов. Электроны покидают атом. Как следствие, в одной или более электронных орбиталях образуются "дырки" — вакансии, благодаря чему атомы переходят в возбужденное состояние, т. е. становятся нестабильными. Через миллионные доли секунды атомы возвращаются к стабильному состоянию, когда вакансии во внутренних орбиталях заполняются электронами из внешних

орбиталей. Такой переход сопровождается испусканием энергии в виде вторичного фотона — этот феномен и называется "флуоресценция".

Источником возбуждающего (первичного) излучения высокой энергии является рентгеновская трубка, питаемая высокостабильным генератором высокого напряжения.

С целью повышения точности и достоверности получаемых результатов обработки данных измерения в приборе предусмотрено использование метода внутреннего стандарта, предусматривающего сравнение измеренных интенсивностей излучения металлов, содержащихся в пробе механических примесей, собранных на фильтре, с веществом-стандартом, присутствующим постоянно в измерительном блоке анализатора, концентрация которого точно известна. При определении концентраций металлов в пробе площади пиков их интенсивности, полученные в результате измерения, сравнивают с площадью вещества стандарта. Такой приём обработки результатов анализа позволяет повысить точность и достоверность определяемых концентраций металлов до уровня 1 г/т, что соответствует требованиям, предъявляемым конструкторами агрегатов ЛА к уровню допустимых концентраций металлов в маслах.

Характеристическое флуоресцентное излучение атомов пропорционально их концентрации в образце. Излучение раскладывается в спектр при помощи кристалл-анализаторов, далее с помощью детекторов и счётной электроники измеряется его интенсивность. Математическая обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный анализ металлических примесей.

Анализ и обработка результатов измерений проводится в автоматическом режиме.

Отдельно стоит отметить, что всю последующую экспертизу на лабораторном оборудовании определяет отбор проб масла из двигателя.

Отобрав представительную пробу работавшего масла с разных этапов его ресурсного цикла, можно провести оценку остаточного ресурса самого масла, а также узлов и агрегатов АД, омываемых маслом.

Также по составу мехпримесей с высокой точностью возможно определить марку сплава, из которого состоят продукты изнашивания, что при прочих равных обстоятельствах обеспечивает адресность возможного дефекта элементов масляной системы.

Влияние механических примесей на работу узлов и агрегатов маслосистем рассмотрено в лабораторной работе № 7. Определение содержания механических примесей в маслах.

2. Экспериментальная часть

Порядок проведения эксперимента

1. Отобранную для анализа пробу в объёме от 25 мл прокачивают через мембранный фильтр для осаждения на нём частиц металлов с помощью вакуумного насоса (рис. 3):
 - отвинчивают накидную гайку, крепящую кювету для прокачки ГСМ;

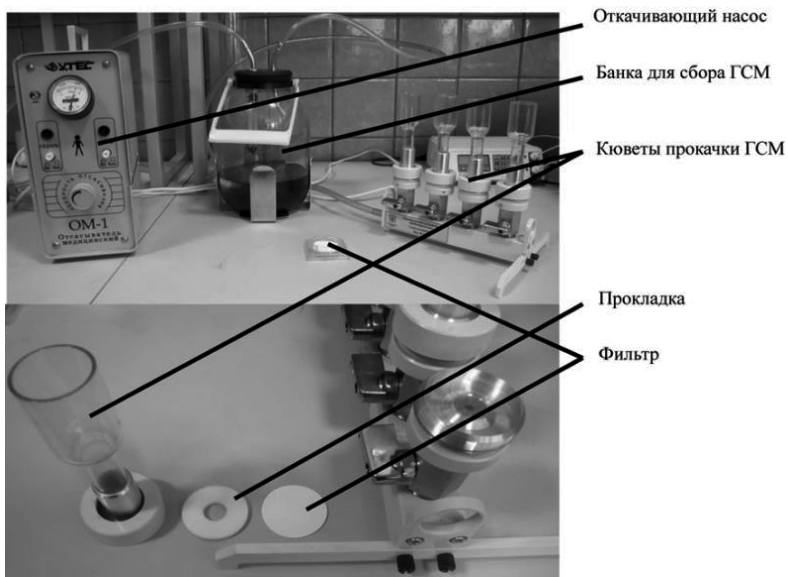


Рис. 3. Устройство подготовки проб

- помещают в гнездо держателя фильтр, устанавливают уплотняющую фторопластовую прокладку, устанавливают кювету прокачки ГСМ на узел фильтрации, закручивают накидную гайку;
- цилиндром отмеряют необходимый для испытаний объём масла (25—50 мл);
- аккуратно заливают масло из цилиндра в кювету и переводят ручку крана, находящегося под кюветой в вертикальное положение;
- включают откачивающий вакуумный насос и регулируют величину остаточного давления, создаваемого в системе до уровня 50—70 %;
- наблюдают за ходом фильтрации образца;
- после того, как весь объём масла профильтруется, промывают кювету чистым керосином для полного смывания остатков масла и осуществляют дополнительную прокачку при необходимости;
- выключают насос, переводят ручку крана, находящегося под кюветой в горизонтальное положение;
- отвинчивают накидную гайку кюветы, снимают её с узла фильтрации, удаляют уплотняющую прокладку и осторожно, с помощью пинцета извлекают фильтр. Просушивают его на воздухе 20—30 мин.

2. Подготовленный таким образом фильтр помещают в кювету блока рентенофлуоресцентного анализатора (рис. 4).
3. Запускают компьютерную программу анализатора.

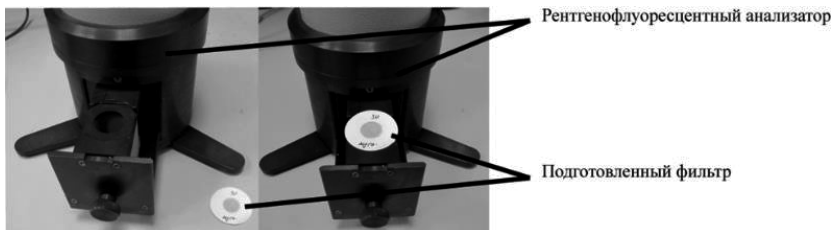


Рис. 4. Блок анализатора с фильтром

4. Заполняют все необходимые поля в соответствующих вкладках: объём пробы, марка масла, диаметр отпечатка и пр.
5. Запускают измерение.
6. Результат эксперимента выводится на экран ПК, его фиксируют в отчёте.
7. Повторяют определение ещё 2 раза, поворачивая фильтр в блоке анализатора на 120°.

За результат анализа принимается среднеарифметическое трёх проведённых измерений.

После окончания измерения записывают в протокол испытаний полученные результаты. В том случае, если проба масла была отобрана с известного авиационного двигателя, дают оценку его технического состояния, учитывая ПДК для данного двигателя.

3. Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры диагностирования опор и других элементов авиационных двигателей, омываемых маслом.
2. С какой целью проводится анализ масел, отобранных из агрегатов ЛА?
3. Назовите основные методы распознавания металлов и определения их содержания в пробах масла.
4. В чём состоит сущность методов раннего диагностирования по содержанию металлов в маслах.
5. Опишите методику определения содержания металлов в маслах на АДК «Призма».
6. Опишите принцип действия АДК «Призма».
7. Перечислите основные загрязнения масла в масляной системе АД.
8. Назовите негативные последствия наличия загрязнений в масляной системе АД.
9. Опишите пробоподготовку для анализа на АДК «Призма».
10. Назовите бортовые методы контроля наличия металлов в маслах.

Лабораторная работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить методы определения наличия и содержания воды в авиационных маслах;
- знать влияние наличия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов АД, омываемых маслом;
- уметь определять наличие воды в авиационных маслах по ГОСТ 1547—84.

1. Теоретическое введение

Все углеводороды обладают свойством обратимой гигроскопичности. Данное свойство рассмотрено в теоретической части лабораторной работы № 3. Определение загрязнённости авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

Как известно, растворимость воды в нефтепродуктах описывается формулой Генри и зависит прежде всего от углеводородного состава, а также от температуры окружающего воздуха и его влажности. В связи с большей тяжестью нефтяных масел (большей их плотностью), растворимость воды в них много меньше, чем в авиационных топливах, тем не менее фазовые состояния воды в маслах и фазовые состояния воды в маслосистемах те же что и в топливах и топливных системах.

Согласно нормативным документам, наличие воды в авиационных маслах не допускается.

Вода может присутствовать в маслах вследствие её попадания в маслосистему при заправке, образования конденсата в маслосистеме при определённых атмосферных условиях, ненадлежащего качества заправляемого масла и пр. Вода, присутствующая в маслах, усиливает их склонность к окислению, изменяет вязкость и смазывающую способность, интенсифицирует процессы коррозии металлических поверхностей, контактирующих с маслом. При низких температурах происходит кристаллизация воды, которая засоряет масляные фильтры, форсунки и др. Всё это приводит к снижению ресурсов работы деталей, узлов и агрегатов, омываемых маслом, и самого масла.

Обводнённость синтетических масел может быть значительно большей, чем минеральных.

Применяются следующие *методы определения воды в авиационных маслах*: визуальный (см. ЛР № 8), качественный и количественный.

Качественному методу определения воды в авиационных маслах посвящена настоящая лабораторная работа.

Сущность метода заключается в том, что авиационное масло нагревают до температуры 130 °С, и при наличии в нём воды происходит образование водяных паров, вызывающих вспенивание и треск. По наличию вспенивания и треска судят о наличии воды. Этот метод, как правило, позволяет качественно определять наличие не только свободной (эмульсионной), но и частично растворённой воды при её концентрациях более 0,02 %.

2. Экспериментальная часть

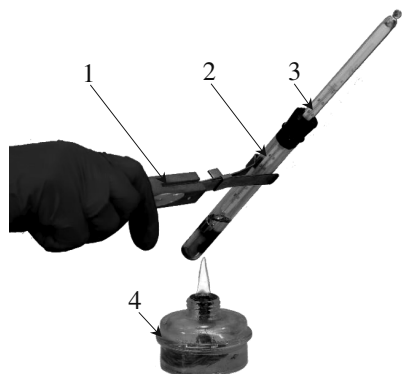


Рис. 1. Определение наличия воды в авиационных маслах:

1 — держатель, 2 — колба с испытуемым маслом, 3 — термометр, 4 — спиртовая горелка

В тщательно вымытую и просушенную тёплым воздухом или в сушильном шкафу стеклянную пробирку наливают при температуре окружающей среды испытуемое авиационное масло до высоты 80—90 мм от дна пробирки. Пробирку закрывают корковой или резиновой пробкой, в отверстие которой вставляют термометр таким образом, чтобы ртутный резервуар термометра находился на равных расстояниях от стенок пробирки и на расстоянии 20—30 мм от её дна (рис. 1). Возможно проведение эксперимента без использования термометра, в этом случае нагревание осуществляют до начала кипения масла.

Во время проведения эксперимента должна соблюдаться тишина.

Порядок проведения эксперимента

1. Пробирку с испытуемым маслом нагревают над небольшим пламенем горелки, перемещая её в наклонном положении, до достижения температуры авиационного масла в пробирке 130 °С (рис. 1).
2. Внимательно прислушиваются, определяя потрескивание пузырьков воды, и наблюдают за возможным вспениванием масла.

Наличие влаги в масле считается установленным, если при вспенивании или без него слышен треск (не менее двух раз).

Опыт повторяют в тех случаях, если при первом испытании наблюдалось одно из следующих явлений:

- 1) однократный явственный треск со вспениванием;
- 2) очень слабый треск со вспениванием;
- 3) только вспенивание.

Если при повторном испытании вновь наблюдается однократный явственный треск со вспениванием или очень слабый треск со вспениванием, то наличие воды считается установленным. Если необходимо количественное определение содержания воды, применяют соответствующий метод (см. ЛР № 11).

Если при повторном испытании вновь наблюдается только однократный явственный треск, или очень слабый треск, или только вспенивание, то испытуемое масло не содержит воды.

Делают вывод по проведённой работе и о кондиционности испытанного масла.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое обратимая гигроскопичность масел?
2. Назовите фазовые состояния воды в маслах и масляных системах АД.
3. Назовите источники появления воды в авиационных маслах и её влияние на сами масла и детали, узлы и агрегаты масляных систем.
4. Назовите методы определения воды в авиационных маслах.
5. Опишите методику качественного определения наличия воды в авиационных маслах.
6. Объясните сущность качественного метода определения воды в авиационных маслах.
7. Опишите визуальный метод определения наличия воды в авиационных маслах.
8. Назовите нормы чистоты авиационных масел по воде.

Лабораторная работа № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В АВИАЦИОННЫХ МАСЛАХ

Цель работы:

- изучить методы определения наличия и содержания воды в авиационных маслах;
- знать влияние наличия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов АД, омываемых маслом;
- уметь определять содержания воды в авиационных маслах по ГОСТ 2477–2014.

1. Теоретическое введение

Необходимые теоретические сведения о гигроскопичности масел, фазовых состояниях воды в авиационных маслах и маслосистемах, влиянии присутствия воды в авиационных маслах на работу узлов и агрегатов ЛА и пр. описаны в теоретических частях лабораторных работ № 3, 8, 10.

Сущностью метода определения количественного содержания воды в авиационных маслах является её перегонка из рабочих масел с растворителем. Растворитель применяют для устранения толчков и сильного вспенивания, сопровождающих кипение масла, содержащего воду. По объёму воды, собравшейся в приёмнике-ловушке, отнесённому к известному количеству авиационного масла, оценивают её количественное содержание.

Эксперимент проводят на приборе Дина и Старка (рис. 1–2).



Рис. 1. Внешний вид прибора Дина-Старка

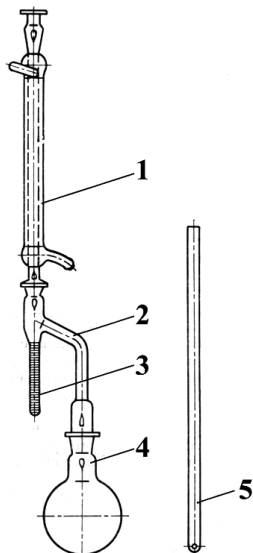


Рис. 2. Конструкция прибора Дина-Старка: 1 — охладитель; 2 — приёмник-ловушка; 3 — мерная шкала; 4 — колба; 5 — распылительная трубка

2. Экспериментальная часть

Пробу авиационного масла или рабочей жидкости в количестве не менее 200 см³ перемешивают встряхиванием в склянке, заполненной не более чем на $\frac{3}{4}$ вместимости в течение 5 мин.

В просушенную колбу (стеклянную или металлическую) помещают навеску испытуемого авиационного масла или рабочей жидкости в количестве 100 ± 1 г, взвешенную с точностью ± 0,10 г. Затем цилиндром отмеривают в колбу 100 см³ растворителя, перемешивают содержимое колбы до полного растворения пробы и помещают в колбу кипелки, или 1—2 г олеина, или несколько капель силиконовой жидкости.

Колбу (4) прибора для количественного определения содержания воды (рис. 2) соединяют с отводной трубкой чистого и сухого приёмника-ловушки (2). К приёмнику-ловушке подсоединяют с помощью стеклянных соединительных элементов охладитель (1). При их отсутствии подсоединение производят посредством корковых пробок. При этом нижний конец отводной трубки приёмника-ловушки вставляют посредством хорошо пригнанной корковой пробки в отверстие колбы с таким расчётом, чтобы он входил в колбу не более чем на 15—20 мм. В верхнем конце приёмника-ловушки закрепляют конец трубки охладителя так, чтобы нижний, косо срезанный край её, находился напротив середины отводной трубки приёмника-ловушки. Пробочные соединения, во избежание возможных потерь, рекомендуется смазать коллодием или замазкой из глёта и глицерина или вакуумной смазкой.

Во избежание конденсации атмосферной влаги верхний конец трубки охладителя закрывают ватой.

Порядок проведения эксперимента

1. Колбу прибора для количественного определения содержания воды устанавливают в колбонагреватель или на электрическую плитку, пускают в охладитель воду и нагревают содержимое колбы до кипения. Перегонку ведут так, чтобы из косо срезанного конца трубки охладителя в приёмник-ловушку падали 2—4 капли за 1 сек. Конденсирующиеся в охладителе пары стекают в приёмник-ловушку, причём вода собирается в её нижней — градуированной — части (3). Иногда в конце испытания в трубке охладителя задерживаются капли воды, их удаляют кратковременным сильным кипячением, а если этого недостаточно, то сталкивают на дно приёмника-ловушки стеклянной палочкой или проволокой. Перегонку прекращают, как только объём воды в приёмнике-ловушке перестанет увеличиваться, и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 мин.
2. После того, как колба охладится, а растворитель и вода в приёмнике-ловушке примут температуру окружающей среды, прибор для количественного определения содержания воды разбирают и

сталкивают стеклянной палочкой или проволокой капли воды со стенок приёмника-ловушки. Если в приёмнике-ловушке собралось небольшое количество воды (до 0,3 см³) и растворитель продолжает оставаться мутным, то приёмник-ловушку помещают на 20—30 мин в горячую воду для осветления и снова охлаждают до температуры окружающей среды;

3. Записывают объём воды, собравшейся в приёмнике-ловушке.

Массовую долю воды в авиационных маслах и рабочих жидкостях (X) в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{V \cdot \rho_{\text{в}}}{m} \cdot 100,$$

где V — объём воды, собравшейся в приёмнике-ловушке, см³;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность воды при температуре окружающей среды, г/см³;

m — навеска масла, взятая для испытания, г.

Вода в приёмнике-ловушке в количестве 0,03 см³ и меньше расценивается как следы. Отсутствие воды в авиационных маслах определяется состоянием, при котором в нижней части приёмника-ловушки не видно капель воды.

В случаях разногласий отсутствие воды проверяется нагреванием испытуемой пробы в пробирке, помещённой в масляную баню, до температуры 130 °С. При этом отсутствием воды считается случай, когда не слышно треска.

Расхождения между двумя последовательными определениями содержания воды в авиационных маслах и рабочих жидкостях не должны превышать одного верхнего деления занимаемой водой части приёмника-ловушки.

Для упрощения расчёта массовой доли воды в авиационных маслах в процентах за плотность воды $\rho_{\text{в}}$ при температуре окружающей среды принимается величина 1 г/см³, числовое значение объёма воды V в кубических сантиметрах — за числовое значение массы воды в граммах. Тогда при навеске авиационного масла 100 ± 1 г за содержание воды в нём принимается количество воды, собравшееся в приёмнике-ловушке, в кубических сантиметрах.

Делают вывод о проведённой работе и о кондиционности испытанного авиационного масла.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое обратимая гигроскопичность масел?
2. Назовите фазовые состояния воды в маслах и масляных системах АД.
3. Назовите источники появления воды в авиационных маслах и её влияние на сами масла и детали, узлы и агрегаты масляных систем.
4. Назовите методы определения воды в авиационных маслах.
5. Опишите метод Дина-Старка для количественного определения содержания воды в авиационных маслах.
6. Опишите конструкцию прибора Дина-Старка и сущность метода.
7. Для чего при проведении эксперимента в авиационное масло добавляется растворитель?
8. Назовите нормы присутствия воды в авиационных маслах.

Лабораторная работа № 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПВКЖ В ТОПЛИВАХ

Цель работы:

- изучить способы предотвращения образования льда в топливных системах ЛА и АД;
- знать методы определения ПВКЖ в АТ;
- уметь определять содержания ПВКЖ в топливе рефрактометрическим способом по ГОСТ 18995.2–73.

3. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся растворимости воды в топливах, фазовых состояний воды в топливах и топливных системах ЛА и АД, влияния воды на работу узлов и агрегатов ЛА и АД и пр., рассмотрено в теоретическом введении лабораторной работы № 3. Определение загрязнённости авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

При подготовке авиатоплив к применению для снижения обводнённости их обезвоживают в фильтрах-сепараторах. Однако выдача кондиционного топлива (содержание свободной воды не более 30 г/т) не ликвидирует проблем при эксплуатации ЛА, связанных с образованием в топливных системах ЛА и АД льда. Это обуславливается как свойством топлив к обратимой гигроскопичности, так и с неизбежным наличием воды в различных фазовых состояниях в топливной системе ЛА.

Для предотвращения образования в топливных системах ЛА и АД льда, а также для предотвращения забивки ФТО АД льдом применяются *различные методы*: ввод противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) в топливо во время заправки; подогрев ФТО АД; впрыск спирта или горячего топлива на ФТО АД при увеличении на нём перепада давления из-за забивки льдом; азотирование надтопливного пространства баков ЛА; осушение топлива в полёте холодным сухим атмосферным воздухом, регулярный слив отстойной воды из баков ЛА и пр.

Добавление в авиационные топлива противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) является радикальным и достаточно простым способом борьбы с образованием льда в топливных системах ЛА и АД. Механизм действия данных присадок заключается в том, что они образуют с водой водородные связи, обеспечивая повышение её растворимости в АТ, а в случаях, когда содержание воды в АТ превышает то количество, которое могут удерживать присадки, они частично переходят в водную фазу, значительно снижая её температуру кристаллизации (до -40 °С). Добавление ПВКЖ осуществляется при температуре наружного воздуха в месте вылета ниже плюс 5 °С, а также при полётах за полярный круг и полётах продолжительностью более 5 ч.

Марки ПВКЖ: «И» (ГОСТ 8313–88), «И-М» (ОСТ 54–3–175–73–99). Жидкость «И» представляет собой однокомпонентный спирт — 100 % этилцеллозольв (этиловый эфир этиленгликоля — $C_2H_5OCH_2CH_2OH$), жидкость

«И-М» — двухкомпонентный спирт — 50 % этилцеллозольва и 50 % метанола. Добавление метанола улучшает растворимость присадки в АТ, снижает её температуру вспышки. В ГА в основном применяется жидкость «И-М».

При изменении температуры и влажности окружающего воздуха растворённая в топливе вода выделяется в свободном виде — в виде эмульсии и микрокапель — и занимает пространство над и под топливом. Вместе с водой из топлива выделяется и часть ПВКЖ, препятствуя образованию кристаллов льда в топливе. При этом, естественно, происходит уменьшение содержания ПВКЖ в топливе. Количество выделяющейся из топлива ПВКЖ зависит от исходного влагосодержания топлива, скорости и степени его охлаждения.

ПВКЖ присадки вводят в ЛА ГА в количестве 0,1 +0,05 % об., т. е. на 1 м³ топлива вводится 1,0—1,5 л ПВКЖ (для вертолётов, эксплуатирующихся в определённых условиях, норматив составляет 0,2 ±0,02 % об.). Введение ПВКЖ в топливо производится при заправке ЛА с помощью специальных дозаторов. Добавление ПВКЖ непосредственно в баки ЛА запрещается. Контроль за точностью подачи ПВКЖ дозаторами в топливо осуществляется не реже 1 раза в смену. Контроль за равномерностью дозирования ПВКЖ осуществляется по мерному стеклу. Необходимый объём ПВКЖ рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{ПВКЖ}} = K \cdot \frac{V_{\text{т}}}{100},$$

где $V_{\text{т}}$ — объём заправляемого топлива, м³;

K — требуемая концентрация ПВКЖ, %.

Смешение различных марок ПВКЖ не допускается.

Если баки ЛА заправлены полностью или частично топливом без ПВКЖ, а предстоит выполнение задания, требующего по условиям полёта использование топлива с ПВКЖ, то в этом случае необходимо слить из баков всё топливо без ПВКЖ и вновь заправить топливом, содержащим требуемое количество ПВКЖ.

ПВКЖ присадки являются ядовитыми, агрессивными к конструкционным материалам топливных систем. Их введение повышает стоимость топлива.

Избыточное содержание ПВКЖ в топливах является крайне негативным.

Кроме того, ПВКЖ обладают высокой испаряемостью, поэтому в полёте их содержание в топливах постепенно снижается, и необходим постоянный контроль за содержанием ПВКЖ при задержке вылета ЛА на земле.

Снижение содержания ПВКЖ приводит к увеличению температуры замерзания эмульсии (смеси) ПВКЖ с водой.

Для определения содержания ПВКЖ в топливах применяются следующие методы: рефрактометрический, бихроматный и экспресс-метод.

Рефрактометрический метод обеспечивает быстроту и высокую точность выполнения анализа, требует минимальной затраты анализируемого раствора (2—3 капли). *Метод основан на экстракции ПВКЖ из анализируемого топлива с последующим замером показателя преломления водной вытяжки при 20 °С.*

Показатель преломления — это соотношение скоростей света определённой длины волны в воздухе и в испытуемом продукте.

Для определения содержания ПВКЖ в топливах рефрактометрическим методом применяются приборы — рефрактометры (рис. 1,2).

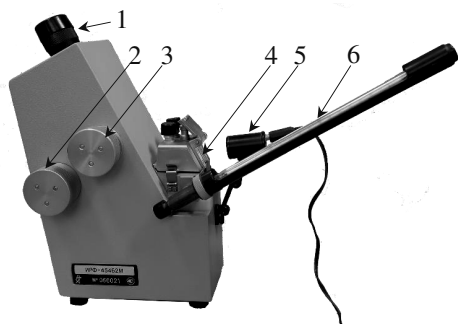


Рис. 1. Внешний вид рефрактометра ИРФ-454Б2М:

1 — окуляр, 2 — поворотный регулятор дуговой шкалы, 3 — компенсатор дисперсии, 4 — рефрактометрический блок, 5 — источник света; 6 — термометр.

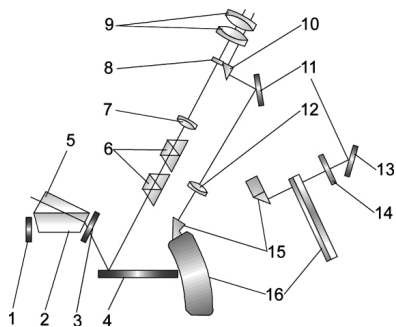


Рис. 2. Принципиальная схема рефрактометра типа ИРФ:

1, 4, 11, 13 — зеркало, 2 — призма измерительная, 3 — стекло защитное, 5 — призма осветительная; 6 — компенсатор; 7 — линза склеенная; 8 — сетка; 9 — окуляр; 10 — призма АР-90°; 12 — объектив; 14 — светофильтр; 15 — призма; 16 — шкала.

2. Экспериментальная часть

Перед началом эксперимента поверхности призм рефрактометра промывают несколькими каплями спирта и вытирают, осторожно прикладывая бумагу, полотно или замшу (материалы должны быть мягкие и неворсистые).

Термостат соединяют при помощи резиновых трубок с кожухом призм рефрактометра и пропускают через кожух воду, имеющую температуру $20 \pm 0,1$ °С, в течение 15—20 мин.

Проверяют точность прибора по дистиллированной воде, показатель преломления которой при 20 °С, равен 1,3330, или по образцам, приложенным к рефрактометру. Проверку производят по инструкции, приложенной к прибору. Если рефрактометр даёт отклонение показателя преломления образца или воды, то винтом корректировки нуля устанавливают метку на нужном делении шкалы.

Порядок проведения эксперимента

1. В делительную воронку наливают 100 мл топлива, содержащего ПВКЖ, и 3 мл дистиллированной воды, которую следует точно отмерить с помощью пипетки вместимостью 5 мл или бюретки вместимостью 10—25 мл. Содержимое воронки энергично встряхивают в течение 15 мин

вручную или перемешивают с помощью механической или магнитной мешалки.

2. После отстаивания отделяют от топлива водную вытяжку стеклянной пипеткой и определяют её показатель преломления при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ n_{D1}^{20} .
3. Одну—две капли испытуемой жидкости наносят при помощи пипетки на поверхность нижней призмы, предварительно промытой и высушенной, не касаясь призмы пипеткой, быстро соединяют обе призмы и прижимают их зажимом. Зрительную трубку устанавливают слегка в наклонном положении. Зеркало устанавливают по отношению к естественному или искусственному источнику света так, чтобы получить максимальную освещённость поля зрения и появление чёрно-белой границы светотени. Если после фокусировки окуляра граница светотени будет иметь некоторую окраску, то её устраняют вращением компенсатора. Если светотень будет серо-белой, необходимо тщательно вымыть призму на входе луча света.
4. Затем медленно вращают поворотный винт, связанный с дуговой шкалой до тех пор, пока чёткая граница светотени точно и симметрично пересечёт центр скрещенных визирных линий. Отсчёт показателя преломления ведут при помощи лупы дуговой шкалы по делению, соответствующему визирной линии шкалы (рис. 2). Намечают границу светотени и отсчёт ведут пять раз (поперемённо сверху и снизу), после чего вычисляют среднее арифметическое значение этих измерений — его и считают результатом определения.

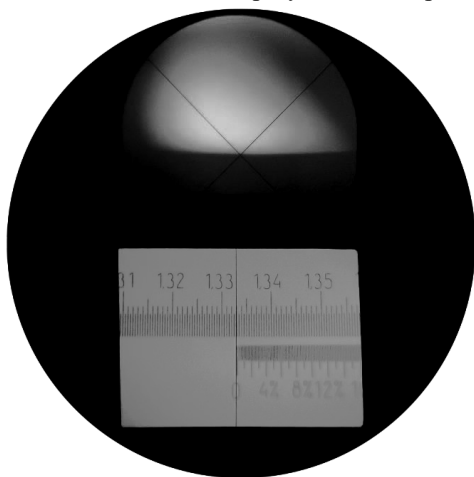


Рис. 2. Определение показателя преломления дистиллированной воды на рефрактометре

За результат испытания принимают среднее арифметическое двух параллельных определений, допускаемые расхождения между которыми не должны превышать 0,0002.

Аналогичным путём определяют при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ показатель преломления дистиллированной воды n_{D2}^{20} , используемой для приготовления водной вытяжки.

После окончания измерения поверхности призм следует промыть спиртом или другим растворителем (в зависимости от растворимости испытуемого вещества) и высушить так же, как перед началом определения.

Концентрацию ПВКЖ (% об.) в топливе вычисляют по формуле:

$$A = \frac{(n_{D2}^{20} - n_{D1}^{20}) * 3}{(n_{D3}^{20} - n_{D1}^{20})} + 0,02,$$

где n_{D1}^{20} — показатель преломления водной вытяжки при 20 °С;
 n_{D2}^{20} — показатель преломления дистиллированной воды при 20 °С, 1,3330;
 n_{D3}^{20} — показатель преломления жидкости «И» («И-М») при 20 °С.

Если показатель преломления при температуре 20 °С (n_{D3}^{20}) определить невозможно из-за отсутствия исходных ПВКЖ, то за его величину допускается принимать для жидкости «И» значение 1,4080, а для жидкости «И-М» значение 1,3680. Показатель преломления дистиллированной воды n_{D2}^{20} равен 1,3330.

Допустимое содержание A ПВК-жидкостей в топливе от 0,1 до 0,15 %.

Делают вывод о проведённой работе.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте определение гигроскопичности авиационных топлив.
2. Назовите фазовые состояния воды в топливной системе ЛА.
3. Назовите возможные негативные последствия присутствия воды в топливах при эксплуатации ЛА.
4. Назовите методы предотвращения образования и ликвидации льда в топливных системах ЛА и АД.
5. Назовите механизм действия ПВКЖ присадки.
6. Назовите марки ПВКЖ, применяемые в авиации, и их состав.
7. Назовите способы определения ПВКЖ в топливах.
8. Опишите методику определения ПВКЖ в топливах рефрактометрическим методом.
9. Назовите недостатки применения ПВКЖ.
10. Назовите действия служб при обнаружении в заправленном в ЛА топливе неправильной концентрации ПВКЖ.

Лабораторная работа № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ПВКЖ «И-М»

Цель работы:

- изучить влияние введения ПВКЖ присадок в топлива на работу топливных систем ЛА и АД;
- знать причины и последствия обводнённости ПВКЖ;
- уметь определять содержания воды в ПВКЖ по ГОСТ 14870–77.

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся растворимости воды в топливах, фазовых состояний воды в топливах и топливных системах ЛА и АД, влияния воды на работу узлов и агрегатов ЛА и АД и пр., рассмотрено в теоретическом введении лабораторной работы № 3. Определение загрязнённости авиатоплив с помощью ИКТ на ПОЗ-Т.

Теоретическое введение, касающееся добавления ПВК-присадки «И-М» в топлива рассмотрено в лабораторной работе № 12. Определение содержания ПВКЖ в топливах.

ПВКЖ «И-М» является ядовитой, легковоспламеняющейся жидкостью. При работе с ней следует внимательно соблюдать правила пожарной безопасности и требования, предъявляемые к работе с ядовитыми жидкостями. К работам с ПВКЖ не допускаются лица моложе 18 лет, беременные женщины и кормящие матери.

В соответствии с ОСТ 53–3–175–73–99 нормируются следующие показатели качества ПВКЖ «И-М» (табл. 1).

Таблица 1

Значения показателей качества ПВКЖ «И-М»

Показатель качества	Значение
Внешний вид	прозрачная бесцветная жидкость
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,858—0,864
Показатель преломления	1,3660—1,3720
Вода, % масс. - на месте производства - на месте потребления	не более 0,1 не более 0,4
Содержание растворимых загрязнений	отсутствие
Содержание механических примесей	отсутствие
Содержание растворимых соединений металлов	отсутствие

Содержание воды в ПВКЖ является крайне важным показателем, поскольку ПВКЖ относится к жидкостям, обладающим обратной гигроскопичностью, а при увеличении в ней содержания воды, эффективность её действия значительно снижается.

Определение воды в ПВКЖ осуществляется так же, как и определение воды в топливах — по методу Карла Фишера.

Метод описан в лабораторной работе № 6. Определение содержания воды в авиационных топливах.

Делают вывод по проведённой работе и о кондиционности испытанного образца ПВКЖ.

2. Экспериментальная часть

См. лабораторную работу № 6. Определение содержания воды в авиационных топливах.

3. Контрольные вопросы

1. Назовите способы предотвращения образования льда в топливных системах ЛА и АД.
2. Назовите фазовые состояния воды в АТ и в топливных системах ЛА и АД.
3. Назовите негативные последствия образования льда в топливных системах ЛА и АД.
4. Опишите сущность метода Карла Фишера для определения содержания воды в ПВКЖ.
5. Опишите прибор для определения содержания воды в ПВКЖ по методу Карла Фишера.
6. Опишите методику проведения эксперимента по определению содержания воды в ПВКЖ.
7. Назовите нормируемые показатели качества ПВКЖ.
8. В каком количестве вводится ПВКЖ в АТ?
9. В каких случаях вводится ПВКЖ в АТ?
10. Назовите влияние обводнённости ПВКЖ на её эффективность.

Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНОВ

Цель работы:

- изучить понятие октанового числа авиационных бензинов;
- знать последствия снижения октанового числа авиационных бензинов;
- уметь определять октановое число бензинов с помощью индикатора октановых чисел ОКТАН-И по ГОСТ 8226–82 и ГОСТ 511–82.

1. Теоретическое введение

Октановое число (ОЧ) является мерой детонационной стойкости бензина (способностью топливно-воздушной смеси сгорать без детонации).

Детонация (от фр. *detoner* — взрываться; лат. *detono* — гремлю) — взрывной (аномальный) процесс сгорания топлива в двигателе, при котором топливно-воздушная смесь самовоспламеняется (взрывается — скорость распространения пламени увеличивается в сотни раз) в произвольный момент времени, сопровождающийся металлическими звонкими стуками, появлением чёрного дыма в отработанных газах, ростом температуры деталей цилиндропоршневой группы, резким уменьшением мощности и пр. Детонация может привести к самовыключению АД в полёте и неизбежно приводит к повреждениям его деталей (рис. 1). Детонация может возникнуть как в бензиновых, так и в дизельных двигателях.



Рис. 1. Разрушение деталей в результате детонации

Причинами возникновения детонации являются: недостаточные ОЧ и(или) сортность применяемого авиабензина, раннее зажигание, перегрев двигателя, наличие нагароотложений (в т. ч. и калильное зажигание), течь топлива в камеру сгорания и пр.

Склонность исследуемого образца бензина к детонации оценивается сравнением его с эталонными топливами, детонационная стойкость которых заранее известна. Отсюда следует, что **октановым числом** называется условная единица измерения детонационной стойкости, численно равная объёмной доле

(в %) *изооктана (2,2,4-триметилпентана) в его смеси с гептаном (n-гептаном), эквивалентной по детонационной стойкости испытываемому топливу при стандартных условиях.* Октановое число эталонного изооктана (ГОСТ 12433–83) принято равным 100, эталонного гептана (ГОСТ 25828–83) — 0. ОЧ бензина свыше 100 единиц определяют с использованием в качестве эталона изооктана с добавлением антидетонационной присадки.

ОЧ является главным показателем, определяющим возможность эффективного использования марок бензинов в двигателях с определённой степенью сжатия. Чем выше ОЧ, тем выше детонационная стойкость бензина. Соответственно, чем выше степень сжатия двигателя, тем большие ОЧ бензинов требуются для его нормальной эксплуатации.

Октановое число бензина зависит от его состава и наличия антидетонаторов — антидетонационных присадок. Прямогонные бензиновые фракции нефти имеют значения ОЧИ не выше 70 единиц, крекинг-компоненты бензина — до 95 единиц. Поэтому бензины по своему составу являются сложными смесями различных компонентов (до 20 шт.) с добавлением ряда присадок, в обязательном порядке среди которых в большинстве случаев вводится антидетонационная присадка. Для авиационных бензинов такой присадкой является **тетраэтилсвинец** ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), который добавляется в них в виде этиловой жидкости, поэтому такие авиационные бензины называют этилированными.

Тetraэтилсвинец — смертельно опасный яд, обладающий выраженным кумулятивным действием, вызывает нарушения центральной нервной системы, оказывает аллергическое воздействие, относится к 1-му классу опасности. Проникает в организм человека даже через кожу. Предельно допустимая концентрация паров ТЭС — $0,005 \text{ мг/м}^3$. ТЭС является веществом, опасным для окружающей среды, в связи с чем применение его в автомобильных бензинах в большинстве стран мира запрещено, в т. ч. и в России с 2003 г. В то же время ТЭС является высокоэффективным и дешёвым антидетонатором.

Отдельным важным показателем для авиационных бензинов является **сортность на богатой смеси (СБС)** — показатель детонационной стойкости при работе на богатой смеси. Сортность характеризует способность бензина обеспечивать существенное повышение мощности АД на взлётном и др. высоких режимах работы (по сравнению с его работой на эталонном изооктане) без детонации. Сортность на богатой смеси ($\alpha = 0,895$) определяется по ГОСТ 3338–2015 на одноцилиндровых установках типа ИТ9-1 с наддувом. Сортность на богатой смеси зависит от состава авиационного топлива: она возрастает с увеличением содержания аренов, нафтеннов, изопарафинов, технического изооктана и пр. Какая-либо связь между ОЧ и СБС отсутствует.

Методы определения октанового числа

ОЧ определяют на специальных стендах (одноцилиндровых установках типа УИТ-65, УИТ-85М, CFR и др. с переменной степенью сжатия в комплекте с электронным детонометром) в стандартных условиях. Существуют два

стандартных метода определения ОЧ — моторный (ОЧМ) и исследовательский (ОЧИ), для автомобильных и авиационных бензинов могут использоваться одинаковые стандарты по определению ОЧ, а могут и различные (табл. 1). Моторный метод имитирует работу двигателя на форсированных режимах при достаточно больших и длительных нагрузках, исследовательский — при меньших нагрузках (табл. 2).

Таблица 1

Стандарты по определению октановых чисел бензинов

Сорта и марки бензинов	Исследовательский метод	Моторный метод
Автомобильные	ГОСТ 32339–2013; ГОСТ 8226–82	ГОСТ 32340–2013; ГОСТ 511–82
Авиационные	—	ГОСТ 32340–2013; ГОСТ 511–82
Б-91/115, Б-92	—	ГОСТ 32340–2013; ГОСТ 511–82
Avgas 100LL, Avgas UL-91	—	ГОСТ Р 52946–2008

Таблица 2

Режимы проведения испытания по определению октановых чисел

Показатель	Исслед. метод	Моторный метод	
	ГОСТ 8226–82	ГОСТ 511–82	ГОСТ Р 52946–2008; ГОСТ 32340–2013
Установка	типа УИТ-65		типа УИТ-85М, CFR
Частота вращения двигателя, об/мин	600 ±5	900 ±9	
Угол опережения зажигания, ° поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки в такте сжатия	13	15—26 (в зависимости от степени сжатия) —	
Температура топливовоздушной смеси, °С	—	149 ±1	
Температура масла в картере, °С	60 ±10		57 ±8
Температура охлаждающей жидкости, °С	100 ±2		100 ±1,5
Температура воздуха, поступающего в карбюратор, °С	52 ±1	50 ±5	38 ±2,8
Влажность воздуха, поступающего в двигатель, Гводы/Гсухого воздуха	3,5—7,0		3,56—7,12
Марка масла	—		МС-20; SAE30 (в зависимости от установки)
Давление масла с кинематической вязкостью при 100 °С не менее $20 \cdot 10^{-6}$ м ² /с, 10^5 Па	1,96 ±0,30		1,72—2,07
Зазор между электродами свечи зажигания, мм	0,5 ±0,1		0,51 ±0,13
Зазор между контактами прерывателя магнето, мм	0,30 ±0,05		—
Зазоры между штоками и коромыслами клапанов, мм	0,20 ±0,05		0,2 ±0,025

В России (СССР) некогда было принято нормировать ОЧ по исследовательскому методу, в США и Европе — как полусумму ОЧ, полученных по обоим методам (антидетонационный индекс). Однако почти во всех современных стандартах на АБ нормируется ОЧМ.

Полученные разными методами значения ОЧ отличаются. При испытаниях реальных двигателей в стендовых и дорожных условиях также определяется фактическое ОЧ (ФОЧ). Иначе его также называют дорожным октановым числом. Как правило, $ОЧМ < ФОЧ < ОЧИ$. Разница между октановыми числами по исследовательскому методу и моторному методу одного и того же бензина называется чувствительностью. Чем меньше чувствительность, тем лучше антидетонационные свойства бензина.

Для ориентировочной оценки требуемого октанового числа может быть использована эмпирическая формула:

$$ОЧ = 125,4 - 413/\varepsilon + 0,189D,$$

где ε — степень сжатия;

D — диаметр цилиндра, мм.

В зависимости от наработки двигателя, требования к ОЧ увеличиваются, это вызвано ростом нагароотложений на деталях АД (снижается отвод тепла, уменьшается объём камеры сгорания).



Рабочий температурный диапазон, °С	-20 — +40
Диапазон измерения октановых чисел, ед. (ОЧИ)	68 — 98
Основная абсолютная погрешность измерения, ед.	±2,0
Время измерения, с	не более 60
Необходимый объём образца, см ³	не менее 50
Масса прибора, кг	не более 0,6

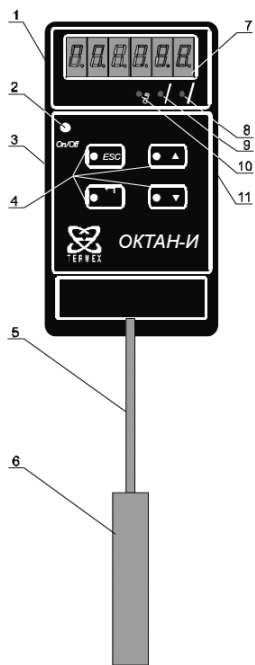
Пригоден для измерения ОЧ только неэтилированных бензинов

Рис. 2. Внешний вид и технические характеристики прибора ОКТАН-И

Для оперативного контроля качества неэтилированных (автомобильных) бензинов ОЧ может быть определено с помощью портативных приборов. Одним из таких приборов является прибор ОКТАН-И, его внешний вид и основные технические характеристики приведены на рис. 2. Идут попытки создать подобные приборы и для этилированных бензинов.

Работа прибора основана на комплексной оценке состава многокомпонентных топлив путём измерения диэлектрической проницаемости топлива. Датчик прибора является ёмкостным преобразователем с изменяющейся диэлектрической проницаемостью, которая зависит от состава топлива. В электронном блоке по измеренному значению электрической ёмкости рассчитывается псевдооктановое число, которое затем автоматически пересчитывается по калибровочной характеристике в значение октанового числа.

Схема прибора показана на рис. 3.



Прибор состоит из корпуса (1) и измерительной ячейки (6), соединенных между собой штангой (5). На лицевой панели прибора расположены: выключатель питания прибора (2), кнопки (4) управления прибором, индикаторное табло (7), индикатор пониженного питания (8), индикатор режима заметок (9), индикатор режима калибровки (10), разъем для подключения зарядного устройства (3) и разъем для подключения к персональному компьютеру (11).

2. Экспериментальная часть

При включении питания прибор переходит в режим измерения октановых чисел. На табло появляется сообщение "r 0.0", что означает, что прибор готов к измерению ОЧИ. Префикс "r" обозначает research — исследовательское. Нажатием кнопок ▼ или ▲ осуществляется последовательный перевод прибора в режим индикации, например, ОЧМ (на табло "M 0.0"), префикс М — Motor — моторное, температуры (на табло, например, "°C 19.8") или других пунктов системного меню. Измерения проводятся практически мгновенно.

Возможно, что после включения прибора индикаторное табло погаснет. В этом случае следует провести полный цикл зарядки аккумуляторной

батареи или заменить батарейки.

Порядок проведения эксперимента

1. Получают пробу бензина.
2. Включают питание прибора.

3. Погружают утолщённую часть датчика прибора в измеряемый бензин. Для полного заполнения прибора рекомендуется сделать несколько вертикальных перемещений датчика.
4. Снимают показания октанового числа бензина по исследовательскому методу (ОЧИ), например "r 94.2", нажимают кнопку ▲ и снимают показания октанового числа по моторному методу (ОЧМ), например "М 86.9".
5. При необходимости нажимают кнопку ▲ и снимают показания температуры измеряемого бензина. Для усреднения результатов измерений повторяют измерения, последовательно нажимая кнопки ▼ или ▲ и снимая при этом соответствующие показания индикаторного табло.
6. По окончании измерения вынимают датчик прибора из бензина, при этом значения октановых чисел обнуляются, а датчик температуры будет отображать температуру окружающего воздуха. Выключают питание прибора. Протирают снаружи датчик салфеткой и просушивают его.
7. Если при измерении стандартных бензинов окажется, что ошибка в индикации октановых чисел превышает $\pm 0,5$ ед. ОЧ необходимо произвести поверку нуля прибора в соответствии с руководством по работе с прибором.

Фиксируют значение октанового числа бензина. Делают вывод по результатам проведённой лабораторной работы.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое октановое число бензинов и что оно характеризует?
2. Какие разновидности ОЧ бывают, в чём их различие и как они определяются?
3. Дайте определение детонации. Назовите её возможные причины и последствия.
4. Опишите сущность метода определения ОЧ бензинов на портативных октанометрах. Назовите ограничения по применению таких приборов.
5. Опишите прибор ОКТАН-И и принцип его действия.
6. Опишите методику проведения эксперимента по определению ОЧ бензинов на приборе ОКТАН-И.
7. Какими методами повышают ОЧ бензинов?
8. Назовите факторы, влияющие на ОЧ вырабатываемого бензина.
9. Назовите негативные последствия этилирования бензинов.
10. От каких факторов зависит выбор ОЧ бензинов в различных двигателях?
11. Что такое сортность авиационных бензинов и как она определяется?

Лабораторная работа № 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЭТРАЭТИЛСВИНЦА В АВИАЦИОННЫХ БЕНЗИНАХ

Цель работы:

- изучить понятие октанового числа авиационных бензинов;
- знать последствия снижения октанового числа авиационных бензинов;
- уметь определять содержание тетраэтилсвинца в авиационных бензинах с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора АДК «Призма».

1. Теоретическое введение

Теоретическое введение, касающееся детонационной стойкости авиационных бензинов, её показателей, влияния этих показателей на эксплуатацию АД, а также общей информации по антидетонаторам рассмотрено в теоретической части лабораторной работы № 14. Определение октанового числа авиационных бензинов.

Содержание антидетонатора (тетраэтилсвинца (ТЭС)) является показателем, косвенно характеризующим особенности сгорания АВ в АД, его детонационную стойкость. ТЭС является весьма эффективным антидетонатором (табл. 1).

Таблица 1

Влияние добавление тетраэтилсвинца на ОЧИ изооктана

ОЧИ	Содержание ТЭС в изооктане, см ³ /кг									
	Октановое число в десятых долях единиц									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
100	0,0000	0,0028	0,0057	0,0086	0,0114	0,0142	0,0170	0,0198	0,0226	0,0254
101	0,0284	0,0314	0,0344	0,0374	0,0404	0,0434	0,0465	0,0497	0,0530	0,0564
102	0,0599	0,0634	0,0670	0,0705	0,0740	0,0775	0,0809	0,0845	0,0880	0,0914
103	0,0952	0,0990	0,1028	0,1068	0,1107	0,1145	0,1184	0,1223	0,1263	0,1303
104	0,1344	0,1383	0,1428	0,1472	0,1516	0,1560	0,1603	0,1648	0,1692	0,1735
105	0,1780	0,1824	0,1872	0,1920	0,1968	0,2016	0,2063	0,2110	0,2158	0,2206
106	0,2254	0,2300	0,2354	0,2410	0,2466	0,2522	0,2578	0,2634	0,2689	0,2747
107	0,2805	0,2866	0,2927	0,2986	0,3047	0,3107	0,3168	0,3230	0,3292	0,3354
108	0,3416	0,3482	0,3550	0,3620	0,3688	0,3755	0,3822	0,3892	0,3964	0,4034
109	0,4104	0,4176	0,4250	0,4325	0,4403	0,4480	0,4558	0,4635	0,4714	0,4795
110	0,4876	—	—	—	—	—	—	—	—	—

В связи с отрицательным воздействием ТЭС на человека и окружающую среду, его содержание в АВ нормируется ГОСТами как показано в табл. 2.

Таблица 2

Нормы стандартов по содержанию ТЭС в авиационных бензинах

Марка бензина	Содержание тетраэтилсвинца		
	гPb/кгбензина, не более	гPb/см ³ бензина, не более	млТЭС/дм ³ , не более
Б-91/115	2,5	—	—
Б-92	2,0	—	—
AVGAS 100LL	—	0,56	0,53
AVGAS UL91	—	—	0,013

Предусматривается определение содержания ТЭС в АБ по следующим отечественным стандартам (табл. 3).

Таблица 3

Отечественные стандарты определения содержания ТЭС

Марка АБ	Стандарт
Б-91/115	ГОСТ 28828–90; ГОСТ 13210–72;
Б-92	
AVGAS UL91	ГОСТ Р 51942–2019
AVGAS 100LL	ГОСТ 28828–90

Сущность всех методов заключается в определении содержания свинца в пробах авиационного бензина и пересчёте его в содержание тетраэтилсвинца по соответствующим формулам.

Одни стандарты предусматривают химические методы определения содержания свинца (посредством титрования), другие — определения с помощью атомно-абсорбционных спектрометров.

В лаборатории химмотологии МГТУ ГА имеется возможность определения содержания свинца на рентгенофлуоресцентном анализаторе АДК «Призма». Данный метод нестандартный, используется в учебных целях, исходя из имеющегося оборудования. Полученные данные являются оценочными.

2. Экспериментальная часть

Порядок проведения эксперимента соответствует порядку, описанному в лабораторной работе № 9. Оценка состава частиц изнашивания в авиационных маслах на АДК «Призма».

После определения содержания свинца в пробе, необходимо пересчитать его в содержание ТЭС г/кг_{бензина} по формуле:

$$C_{ТЭС} = C_{Pb} \cdot 1,561,$$

где C_{Pb} — содержание свинца в пробе бензина, г/кг;

1,561 — коэффициент пересчёта содержания свинца на тетраэтилсвинец.

Делают вывод о проведённой работе.

3. Контрольные вопросы

1. Что такое октановое число бензинов и что оно характеризует?
2. Дайте общую характеристику тетраэтилсвинцу как антидетонатору.
3. Дайте определение детонации. Назовите её возможные причины и последствия.
4. Каковы нормы добавления тетраэтилсвинца в авиационные бензины?
5. Назовите способы определения содержания ТЭС в АБ.
6. Опишите способ определения содержания ТЭС в АБ на АДК «Призма».
7. Назовите негативные последствия снижения и повышения содержания ТЭС в АБ.

Рекомендуемая литература

1. Грядунов, К. И. Химмотология авиационных горюче-смазочных материалов : тексты лекций / К. И. Грядунов. — М. : ИД Академии Жуковского, 2021. — 184 с.
2. Грядунов, К. И. Авиационные горюче-смазочные материалы / К. И. Грядунов. — М. : ИД Академии Жуковского, 2024. — 200 с.
3. Грядунов, К. И. Эксплуатационные свойства авиационных ГСМ / К. И. Грядунов. — М. : ИД Академии Жуковского, 2022. — 186 с.
4. Приказ № ДВ-126 от 17 октября 1992 г.
5. Балашов, И. А., Ковба Л. В. и др. Методические рекомендации по анализу качества горюче-смазочных материалов в гражданской авиации / И. А. Балашов, Л. В. Ковба и др. — М.: Воздушный транспорт, 1987. — 169 с.
6. Гуреев А. А., Серегин Е. П., Азев В. С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. — М.: Химия, 1984. — 200 с.